

## 明 細 書

### 記録方法、記録装置、プログラムおよび記録制御装置

#### 技術分野

[0001] 本発明は、複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を記録媒体に記録する記録方法、記録装置、プログラムおよび記録制御装置に関する。

#### 背景技術

[0002] 光ディスク装置は、レーザ光を光ディスクに照射することによって光ディスクにデジタル情報を記録する。しかし、光ディスク装置および光ディスクは個体差を有するため、光ディスクに記録された信号の品質が低下する。個体差に起因する信号品質の低下を防ぐために、例えば、光ディスクを光ディスク装置に装着する時に信号をテスト記録し、例えば、照射パワーおよび光パルス形状を最適にする。

[0003] 図10は、従来の光ディスク装置400の構成を示す。

[0004] 光ディスク装置400は、光ディスク401が装着可能なように構成されている。光ディスク装置400は、光ヘッド402と、再生手段404と、復調・ECC回路406と、記録条件決定手段408と、記録補償回路409と、レーザ駆動回路412と、記録パワー設定手段411とを備える。

[0005] 記録条件決定手段408は、記録パルス位置と記録パワーとを決定する。記録補償回路409は、記録条件決定手段408の決定に従って記録パルス位置を設定する。記録パワー設定手段411は、記録条件決定手段408の決定に従って記録パワーを設定する。レーザ駆動回路412は、光ヘッド402が光ディスク401に対して所定のテスト記録を行うように、光ヘッド402を制御する。

[0006] テスト記録が終わると、レーザ駆動回路412は、光ヘッド402が光ディスク401に記録された信号を再生するように、光ヘッド402を制御する。再生信号403は再生手段404に入力される。

[0007] 図11は、再生手段404の構成を示す。

[0008] 再生手段404は、プリアンプ501と、イコライザ502と、ローパスフィルタ503と、2値化回路505と、PLL(Phase Locked Loop)507と、エッジ間隔測定回路508と、

ジッタ演算回路510とを備える。

- [0009] プリアンプ501は、再生信号403を増幅し、イコライザ502およびローパスフィルタ503は、増幅された再生信号403を波形等化することによって、信号504を生成する。2値化回路505は、信号504とスライスレベルに基づいてパルス信号506を生成する。2値化回路505は、マークの積分値とスペースの積分値とが等しくなるように、スライスレベルを通常数10KHzの帯域で動作する。パルス信号506はPLL507に入力される。
- [0010] 図12は、PLL507の構成を示す。
- [0011] PLL507は、位相比較器601と、ローパスフィルタ602と、VCO603と、フリップフロップ605と、分周回路606と、ゲート回路607とを備える。
- [0012] 位相比較器601は、パルス信号506の位相とゲート回路607から出力された信号608の位相との差を検出する。位相比較器601は、パルス信号506と信号608との位相差および周波数差を示す誤差信号を生成する。
- [0013] ローパスフィルタ602は、誤差信号の低周波成分のみを取り出し、VCO603の制御電圧を示す制御信号を生成する。VCO603は制御電圧に基づいてクロック信号604を生成する。分周回路606は、クロック信号604を分周する。ゲート回路607は分周されたクロック信号604に基づいて、信号608を生成する。VCO603は、位相比較器602に入力される2つの信号(パルス信号506および信号608)の位相が等しくなるように制御される。このようにして、PLL507は、パルス信号506に基づいて、信号405を生成する。
- [0014] 2値化回路505から出力されたパルス信号506と、フリップフロップ605から出力された信号405とがエッジ間隔測定回路508に入力されると、エッジ間隔測定回路508は、2つのパルスのエッジ間隔t0、t1、t2、t3、t4、t5、t6、t7、t8、t9…を測定し、ジッタ演算回路510にエッジ間隔を示す信号509を出力する(図13参照)。
- [0015] ジッタ演算回路510は、エッジ間隔を積分する。
- [0016] 図14は、エッジ間隔の分布を示す。ジッタ演算回路510は、例えば、エッジ間隔の分布に基づいて標準偏差を算出し、算出結果を示す信号407を記録条件決定手段408に出力する。記録条件決定手段408は、信号407に基づいて最適な記録条件

を探索する。

特許文献1:特開2000-200418号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0017] しかし、記録データの最短マーク長が非常に短い場合には、例えば、符号間干渉に起因して、エッジ間隔の分布の一部がウインド幅を越えることがあった(図図15参照)。この場合でも正規分布から外れる部分は全体の総数に対して非常に少なく、標準偏差は分布の中心部分が支配的であるため、ジッタの増加は小さい。しかし、実際にはウインド幅を越えてエラーとなっているので、エラー発生確率は増大していた。すなわちエラー発生確率が異なる場合でもジッタが同じになる場合がある。したがって、ジッタのみから正確なエラー発生確率を予測することが困難な場合があった。

[0018] 本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、最短マーク長が従来よりも短い場合でも正しい記録を行うための記録方法を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0019] 本発明の記録方法は、複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を記録媒体に記録する記録方法であつて、(a)前記複数の記録条件で、複数のテスト情報を前記記録媒体に記録するステップと、(b)前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、前記情報を前記記録媒体に記録するステップとを包含し、前記ステップ(b)は、(b-1)前記記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出するステップと、(b-2)前記乖離を参照することによって、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップとを包含し、これにより、上記目的が達成される。

[0020] 前記ステップ(a)は、(a-1)初期条件を決定するステップと、(a-2)前記初期条件に基づいて、少なくとも1つの記録条件を決定するステップとを包含してもよい。前記複数の記録条件は、前記初期条件と前記決定された少なくとも1つの記録条件とを含む。

[0021] 前記ステップ(b-1)は、前記記録媒体から前記複数のテスト情報を再生することによって、前記複数のテスト信号を得るステップと、前記複数のテスト信号を最尤復号し

、前記最尤復号の結果を示す複数の2値化信号を生成するステップと、前記複数のテスト信号と前記複数の2値化信号とに基づいて、前記最尤復号の結果の信頼性を計算する計算ステップとを包含し、前記ステップ(b-2)は、前記信頼性を示す複数の値に基づいて、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップを包含してもよい。

- [0022] 前記ステップ(b-2)は、前記複数の記録条件のうち、前記信頼性を示す複数の値のうちの最小値に対応する記録条件を選択するステップを包含してもよい。
- [0023] 前記ステップ(b-1)は、前記記録媒体から前記複数のテスト情報を再生することによって、前記複数のテスト信号を得るステップと、前記複数のテスト信号のそれぞれに基づいて、複数のパスを生成するステップと、前記複数のテスト信号のそれぞれと前記複数のパスとに基づいて、前記複数のテスト信号の信頼性を示す複数の指標を計算する計算ステップとを包含し、前記ステップ(b-2)は、前記複数の指標に基づいて、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップを包含してもよい。  
。
- [0024] 前記ステップ(b-2)は、前記複数の記録条件のうち、前記複数の指標のうちの最小値に対応する記録条件を選択するステップを包含してもよい。
- [0025] 前記複数の記録条件には、選択される優先順位が付されていてもよい。
- [0026] 前記ステップ(b)は、前記選択された1つの記録条件に従って、光に含まれる複数の光パルスの相対位置を決定するステップと、前記光を前記記録媒体に照射することによって、所定の長さを有する複数の記録マークを前記記録媒体に形成するステップとを包含してもよい。
- [0027] 前記所定の長さを有する複数の記録マークは、最短記録マークを含んでもよい。
- [0028] 前記所定の長さを有する複数の記録マークは、最短記録マークの次に長い記録マークを含んでもよい。
- [0029] 前記ステップ(b)は、前記情報を前記記録媒体に記録するために前記記録媒体に形成される複数の記録マークの長さに応じて、光に含まれる複数の光パルスの相対位置を決定するステップと、前記光を前記記録媒体に照射することによって、前記情報を記録するステップとを包含してもよい。

[0030] 前記複数の記録マークのうち、最短記録マークの長さに応じて、前記複数の光パルスの相対位置を決定してもよい。

[0031] 前記複数の記録マークのうち、最短記録マークの次に長い記録マークの長さに応じて、前記複数の光パルスの相対位置を決定してもよい。

[0032] 前記初期条件は、前記記録媒体作製時に前記記録媒体に記録されていてもよい。

[0033] エッジシフト量およびジッタのうちの少なくとも一方に基づいて、所定の記録条件を決定するステップをさらに包含してもよい。なお、前記所定の記録条件は、前記複数の記録条件に含まれる。

[0034] 前記ステップ(a-1)は、前記所定の記録条件を前記初期条件として決定するステップを包含してもよい。

[0035] 本発明の記録装置は、複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を記録媒体に記録する記録装置であって、前記複数の記録条件で、複数のテスト情報を前記記録媒体に記録する第1記録手段と、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、前記情報を前記記録媒体に記録する第2記録手段とを備え、前記第2記録手段は、前記記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出する算出部と、前記乖離を参照することによって、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択する選択部とを備え、これにより、上記目的が達成される。

[0036] 本発明のプログラムは、複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を記録媒体に記録する記録処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、前記記録処理は、(a)前記複数の記録条件で、複数のテスト情報を前記記録媒体に記録するステップと、(b)前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、前記情報を前記記録媒体に記録するステップとを包含し、前記ステップ(b)は、(b-1)前記記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出するステップと、(b-2)前記乖離を参照することによって、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップとを包含し、これにより、上記目的が達成される。

[0037] 本発明の記録制御装置は、複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、情報を記

録媒体に記録するための記録制御装置であって、前記記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出するための算出部と、前記乖離を参照することによって、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するための選択部とを備え、これにより、上記目的が達成される。

### 発明の効果

[0038] 本発明の記録方法、記録装置、プログラムおよび記録制御装置によれば、複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号と所望信号との乖離を算出し、複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択する。したがって、1つの記録条件を所望信号の条件に整合させるために、複数の記録条件から1つの記録条件を選択するだけで、所望信号の条件に近い条件で情報を記録媒体に記録することができる。その結果、簡単な回路構成で記録パラメータの最適化を図ることができる。

[0039] さらに、本発明の記録方法によれば、ユーザデータの記録前にテスト記録を行い、PRML誤差指標Mが小さくなる条件でユーザデータを記録するため、最短マーク長が短い場合でも正しい記録を行うことができる。

[0040] さらに、本発明の記録方法によれば、ユーザデータの記録前にテスト記録を行い、PRML誤差指標Mが小さくなる条件でユーザデータの記録を行うことにより、光ディスクの品質のばらつきや光ディスク装置の品質のばらつきに影響されることなく、データを正確に記録できる。

### 図面の簡単な説明

[0041] [図1]図1は、最小極性反転間隔が2である記録符号と等化方式PR(1, 2, 2, 1)とかく定まる状態遷移則を表す状態遷移図Aである。

[図2]図2は、状態遷移図Aを時間軸に沿って展開することによって得ることができるトレリス図である。

[図3]図3は、Pa-Pbの分布を示す図である。

[図4]図4は、本発明の実施の形態の光ディスク装置100の構成を示す図である。

[図5]図5は、光ディスク101の構成を示す図である。

[図6]図6は、記録時に光ヘッド102が照射する光の波形を示す図である。

[図7]図7は、3Tマークのパルス位置を最適化するために光ディスクに記録されたテスト信号を示す図である。

[図8]図8は、パルス位置を最適化するための複数の条件の決定手順を説明するための図である。

[図9]図9は、再生手段104の構成を示す図である。

[図10]図10は、従来の光ディスク装置400の構成を示す図である。

[図11]図11は、再生手段404の構成を示す図である。

[図12]図12は、PLL507の構成を示す図である。

[図13]図13は、再生手段404に含まれる複数の構成要素によって生成された信号を示す図である。

[図14]図14は、エッジ間隔の分布を示す図である。

[図15]図15は、エッジ間隔の分布を示す図である。

### 符号の説明

- [0042] 100 光ディスク装置
  - 101 光ディスク
  - 102 光ヘッド
  - 104 再生手段
    - 106 復調・ECC回路
    - 108 記録条件決定手段
    - 109 記録補償回路
    - 111 記録パワー設定手段
    - 112 レーザ駆動回路
  - 201 プリアンプ
  - 202 ハイパスフィルタ
  - 203 AGC回路
  - 204 波形等化器
  - 205 A／D変換器
  - 206 整形部

## 207 最尤復号器

## 208 信頼性計算部

## 発明を実施するための最良の形態

[0043] 以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

[0044] はじめに、本発明の実施の形態の光ディスク装置によって参照されるPRML誤差指標M(以下、「指標M」と記す)を説明し(「1. 指標Mについて」を参照)、次に、本発明の実施の形態の光ディスク装置の詳細を説明する(「2. 本発明の実施の形態の光ディスク装置」を参照)。

[0045] 1. 指標Mについて

はじめに、最尤復号法に基づいた再生信号評価のための指標Mを説明する。最尤復号法とは、一般的に、再生信号の波形と予め推定された波形とを比較することによって、再生信号の波形のパターンを判定し、判定結果に基づいて、再生信号を復号する復号方法である。

[0046] 以下、記録符号の最小極性反転間隔が2であり、信号の波形は、信号の周波数特性がPR(1, 2, 2, 1)等化となるように整形されているとする。

[0047] 現時刻の記録符号を $b_k$ とし、1時刻前の記録符号を $b_{k-1}$ とし、2時刻前の記録符号を $b_{k-2}$ とし、3時刻前の記録符号を $b_{k-3}$ とする。PR(1, 2, 2, 1)等化の理想的な出力値Level<sub>v</sub>は(式1)で表される。

[0048] (式1)

$$\text{Level}_v = b_{k-3} + 2b_{k-2} + 2b_{k-1} + b_k$$

ここで、kは時刻を表す整数であり、vは0~6までの整数である。

[0049] 表1は、時刻kにおける状態をS( $b_{k-2}$ ,  $b_{k-1}$ ,  $b_k$ )で表した状態遷移表である。

[0050] [表1]

表1：最小反転間隔2とPR(1, 2, 2, 1)の制約から定まる状態遷移表

時刻k-1における状態 S(b <sub>k-3</sub> , b <sub>k-2</sub> , b <sub>k-1</sub> )	時刻kにおける状態 S(b <sub>k-2</sub> , b <sub>k-1</sub> , b <sub>k</sub> )	b <sub>k</sub> /Level <sub>v</sub>
S(0, 0, 0)	S(0, 0, 0)	0/0
S(0, 0, 0)	S(0, 0, 1)	1/1
S(0, 0, 1)	S(0, 1, 1)	1/3
S(0, 1, 1)	S(1, 1, 0)	0/4
S(0, 1, 1)	S(1, 1, 1)	1/5
S(1, 0, 0)	S(0, 0, 0)	0/1
S(1, 0, 0)	S(0, 0, 1)	1/2
S(1, 1, 0)	S(1, 0, 0)	0/3
S(1, 1, 1)	S(1, 1, 0)	0/5
S(1, 1, 1)	S(1, 1, 1)	1/6

図1は、最小極性反転間隔が2である記録符号と等化方式PR(1, 2, 2, 1)とから定まる状態遷移則を表す状態遷移図Aである。状態遷移図Aは、表1を参照することによって得ることができる。

- [0051] S<sub>0</sub><sub>k</sub>は時刻kにおける状態S(0, 0, 0)<sub>k</sub>を示し、S<sub>1</sub><sub>k</sub>は時刻kにおける状態S(0, 0, 1)<sub>k</sub>を示し、S<sub>2</sub><sub>k</sub>は時刻kにおける状態S(0, 1, 1)<sub>k</sub>を示し、S<sub>3</sub><sub>k</sub>は時刻kにおける状態S(1, 1, 1)<sub>k</sub>を示し、S<sub>4</sub><sub>k</sub>は時刻kにおける状態S(1, 1, 0)<sub>k</sub>を示し、S<sub>5</sub><sub>k</sub>は時刻kにおける状態S(1, 0, 0)<sub>k</sub>を示す。
- [0052] 図2は、状態遷移図Aを時間軸に沿って展開することによって得ることができるトレース図である。
- [0053] 以下、図1と図2とを参照して、最小極性反転間隔が2である記録符号と等化方式PR(1, 2, 2, 1)とから定まる状態遷移を説明する。
- [0054] 時刻kにおける状態S<sub>0</sub><sub>k</sub>と時刻k-4における状態S<sub>2</sub><sub>k-4</sub>に注目する。図2は、状態S<sub>0</sub><sub>k</sub>と状態S<sub>2</sub><sub>k-4</sub>との間でとりうる2つの状態遷移列(パスA、パスB)を示す。パスAの遷移は状態S<sub>2</sub><sub>k-4</sub>、状態S<sub>4</sub><sub>k-3</sub>、状態S<sub>5</sub><sub>k-2</sub>、状態S<sub>0</sub><sub>k-1</sub>、状態S<sub>0</sub><sub>k</sub>である。パスBの遷移は状態S<sub>2</sub><sub>k-4</sub>、S<sub>3</sub><sub>k-3</sub>、S<sub>4</sub><sub>k-2</sub>、S<sub>5</sub><sub>k-1</sub>、S<sub>0</sub><sub>k</sub>である。

[0055]  $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k)$  が時刻  $k-6$  から時刻  $k$  までの最尤復号結果を示すとすると、 $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 0)$  となる復号結果 ( $x$  は 0 または 1 の値) が得られた場合には、パス A およびパス B のうちの何れが最も確からしいか推定されたこととなる。パス A およびパス B の両方とも、時刻  $k-4$  における状態が状態  $S_{k-4}$  であることの確からしさは同じであるから、時刻  $k-3$  における再生信号  $y_{k-3}$  から時刻  $k$  における再生信号  $y_k$  までの値と、パス A およびパス B それぞれの期待値との差を 2乗した値の累積値を求めることによって、パス A とパス B との何れが確からしいかが分かる。

[0056] 時刻  $k-3$  における再生信号  $y_{k-3}$  と時刻  $k-3$  におけるパス A の期待値との差の 2乗値、時刻  $k-2$  における再生信号  $y_{k-2}$  と時刻  $k-2$  におけるパス A の期待値との差の 2乗値、時刻  $k-1$  における再生信号  $y_{k-1}$  と時刻  $k-1$  におけるパス A の期待値との差の 2乗値および時刻  $k$  における再生信号  $y_k$  と時刻  $k$  におけるパス A の期待値との差の 2乗値の累積値を  $Pa$  とすると  $Pa$  は(式1)で表される。

[0057] (式1)

$$Pa = (y_{k-3} - 4)^2 + (y_{k-2} - 3)^2 + (y_{k-1} - 1)^2 + (y_k - 0)^2$$

時刻  $k-3$  における再生信号  $y_{k-3}$  と時刻  $k-3$  におけるパス B の期待値との差の 2乗値、時刻  $k-2$  における再生信号  $y_{k-2}$  と時刻  $k-2$  におけるパス B の期待値との差の 2乗値、時刻  $k-1$  における再生信号  $y_{k-1}$  と時刻  $k-1$  におけるパス B の期待値との差の 2乗値および時刻  $k$  における再生信号  $y_k$  と時刻  $k$  におけるパス B の期待値との差の 2乗値の累積値を  $Pb$  とすると  $Pb$  は(式2)で表される。

[0058] (式2)

$$Pb = (y_{k-3} - 5)^2 + (y_{k-2} - 5)^2 + (y_{k-1} - 3)^2 + (y_k - 1)^2$$

したがって、 $Pa - Pb$  は、最尤復号結果の信頼性を示す。

[0059] 図3は、 $Pa - Pb$  の分布を示す。以下、差  $Pa - Pb$  の意味を説明する。 $Pa \ll Pb$  であれば、最尤復号部は、パス A を高い確率で選択し、 $Pa \gg Pb$  であれば、最尤復号部は、パス B を高い確率で選択する。また  $Pa = Pb$  であれば、最尤復号部は、パス A

またはパスBを選択する可能性は50パーセントであり、最尤復号部の復号結果が正しい可能性は50パーセントである。このようにして所定の時間あるいは所定の回数、復号結果に基づいてPa-Pbを算出することによってPa-Pbの分布が得られる。

- [0060] 図3(a)は、ノイズが重畠された再生信号に基づいて算出されたPa-Pbの分布を示す。分布は2つのピークを有する。1つはPa=0となるときに頻度が極大となり、もう1つはPb=0となるときに頻度が極大となる。
- [0061] Pa-Pbの絶対値を計算し、 $|Pa-Pb| - P_{std}$ を求める。ここで、 $-P_{std}$ は、Pa-Pbの値を示し(ただし、Pa=0)、 $P_{std}$ は、Pa-Pbの値を示す(ただし、Pb=0)。
- [0062] 図3(b)は $|Pa-Pb| - P_{std}$ の分布を示す。図3(b)に示す分布の標準偏差 $\sigma$ と平均値 $P_{ave}$ を求める。図3(b)に示す分布が正規分布であるとし、例えば $\sigma$ と $P_{ave}$ とに基づいて復号結果の信頼性 $|Pa-Pb|$ の値が $-P_{std}$ 以下となるときを誤りが発生した状態とすると、誤り確率 $P(\sigma, P_{ave})$ は(式3)のように表される。
- [0063] (式3)

$$P(\sigma, P_{ave}) = \operatorname{erfc}((P_{std} + P_{ave}) / \sigma)$$

Pa-Pbの分布から計算した平均値 $P_{ave}$ と標準偏差 $\sigma$ とから最尤復号結果を示す2値化信号の誤り率を予想することができる。つまり平均値 $P_{ave}$ と標準偏差 $\sigma$ とを再生信号品質の指標とすることができる。

- [0064] なお、上記の例では $|Pa-Pb|$ の分布が正規分布となることを仮定したが、分布が正規分布でない場合には、 $|Pa-Pb| - P_{std}$ の値が所定の基準値以下になる回数をカウントし、そのカウント数を信号品質の指標とすることも可能である。
- [0065] 最小極性反転間隔が2である記録符号と等化方式PR(1, 2, 2, 1)とから定まる状態遷移則の場合、状態が遷移するときに2つの状態遷移列をとり得るような組み合せは、時刻k-4から時刻kの範囲では8パターンあり、時刻k-5から時刻kの範囲では16パターンである。
- [0066] ここで重要なのは、信頼性Pa-Pbを再生信号品質の指標とすることにより、すべてのパターンを検出しなくても、誤る可能性(誤り率)が大のパターンのみを検出すれば、その検出結果を誤り率と相關のある指標とすることができます。ここで、誤る可能性が

大のパターンとは、信頼性 $P_a - P_b$ の値が小となるパターンであり、 $P_a - P_b = \pm 10$ となる8パターンである。この8パターンと $P_a - P_b$ についてまとめると(表2)のようになる。

[0067] [表2]

表2：2つの遷移をとり得る最短の状態遷移の組み合わせ

状態遷移	復号結果の信頼性 $P_a - P_b$	
	$P_a = 0$ の場合	$P_b = 0$ の場合
$S_{2_{k-4}} \rightarrow S_{0_k}$	-10	+10
$S_{3_{k-4}} \rightarrow S_{0_k}$	-10	+10
$S_{2_{k-4}} \rightarrow S_{1_k}$	-10	+10
$S_{3_{k-4}} \rightarrow S_{1_k}$	-10	+10
$S_{0_{k-4}} \rightarrow S_{4_k}$	-10	+10
$S_{5_{k-4}} \rightarrow S_{4_k}$	-10	+10
$S_{0_{k-4}} \rightarrow S_{3_k}$	-10	+10
$S_{5_{k-4}} \rightarrow S_{3_k}$	-10	+10

上記8通りの復号結果の信頼性 $P_a - P_b$ をまとめると(式4)が得られる。

[0068] [数1]

(式4)

**Pattern-1** $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 0)$  のとき

$$Pa-Pb=(E_{k-3}-F_{k-3})+(D_{k-2}-F_{k-2})+(B_{k-1}-D_{k-1})+(A_k-B_k)$$

**Pattern-2** $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 1, x, 0, 0, 0)$  のとき

$$Pa-Pb=(F_{k-3}-G_{k-3})+(D_{k-2}-F_{k-2})+(B_{k-1}-D_{k-1})+(A_k-B_k)$$

**Pattern-3** $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 1, 1, x, 0, 0, 1)$  のとき

$$Pa-Pb=(E_{k-3}-F_{k-3})+(D_{k-2}-F_{k-2})+(B_{k-1}-D_{k-1})+(B_k-C_k)$$

**Pattern-4** $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 1, 1, x, 0, 0, 1)$  のとき

$$Pa-Pb=(F_{k-3}-G_{k-3})+(D_{k-2}-F_{k-2})+(B_{k-1}-D_{k-1})+(B_k-C_k)$$

**Pattern-5** $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, x, 1, 1, 0)$  のとき

$$Pa-Pb=(A_{k-3}-B_{k-3})+(B_{k-2}-D_{k-2})+(D_{k-1}-F_{k-1})+(E_k-F_k)$$

**Pattern-6** $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 0, 0, x, 1, 1, 0)$  のとき

$$Pa-Pb=(B_{k-3}-C_{k-3})+(B_{k-2}-D_{k-2})+(D_{k-1}-F_{k-1})+(E_k-F_k)$$

**Pattern-7** $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (0, 0, 0, x, 1, 1, 1)$  のとき

$$Pa-Pb=(A_{k-3}-B_{k-3})+(B_{k-2}-D_{k-2})+(D_{k-1}-F_{k-1})+(F_k-G_k)$$

**Pattern-8** $(C_{k-6}, C_{k-5}, C_{k-4}, C_{k-3}, C_{k-2}, C_{k-1}, C_k) = (1, 0, 0, x, 1, 1, 1)$  のとき

$$Pa-Pb=(B_{k-3}-C_{k-3})+(B_{k-2}-D_{k-2})+(D_{k-1}-F_{k-1})+(F_k-G_k)$$

ここで  $A_k = (y_k - 0)^2$ ,  $B_k = (y_k - 1)^2$ ,  $C_k = (y_k - 2)^2$ ,  $D_k = (y_k - 3)^2$ ,  $E_k = (y_k - 4)^2$ ,

$F_k = (y_k - 5)^2$ ,  $G_k = (y_k - 6)^2$ とする。

[0069] 最尤復号結果  $c_k$  から(式5)を満たす  $P_{a-Pb}$  を求め、その分布から標準偏差  $\sigma_{10}$  と平均値  $Pave_{10}$  とを算出する。正規分布であると仮定するとそれぞれ誤りを起こす確率  $P_{10}$  は(式5)となる。

[0070] (式5)

$$P_{10}(\sigma_{10}, Pave_{10}) = \operatorname{erfc}\left((10 + Pave_{10}) / \sigma_{10}\right)$$

上記8パターンは、1ビットシフトエラーを起こすパターンであり、他のパターンは、2ビット以上のシフトエラーを起こすパターンである。PRML処理後のエラーパターンを分析すると、ほとんどが、1ビットシフトエラーであるため、(式6)を求めることで再生信号の誤り率が推定できる。このように、標準偏差  $\sigma_{10}$  および平均値  $Pave_{10}$  を再生信号の品質を示す指標として用いることができる。例えば、上記の指標を指標Mとして、(式6)によって定義できる。

[0071] (式6)

$$M = \sigma_{10} / (2 \cdot d_{\min}^2) [\%]$$

但し、 $d_{\min}^2$ は、ユークリッド距離の最小値の2乗です。例えば、最小極性反転間隔が2の変調符号とPR(1, 2, 2, 1)ML方式との組み合わせでは、 $d_{\min}^2 = 10 = Pstd$  である。また、(式5)における平均値  $Pave_{10}$  は、0と仮定し、(式6)の指標の計算では、考慮しない。

[0072] 以上、最尤復号法に基づいた再生信号評価のための指標(指標M)を説明した。

## 2. 本発明の実施の形態の光ディスク装置

以下、本発明の実施の形態の光ディスク装置100の構成および動作を説明する。

[0074] 図4は、本発明の実施の形態の光ディスク装置100の構成を示す。光ディスク装置100は、光ディスク101が装着可能なように構成されている。

[0075] 図5は、光ディスク101の構成を示す。光ディスク101には、グルーブトラック601が形成されている。グルーブトラック601の形状は、例えば、スパイラル状または同心円状である。グルーブトラック601は記録領域を含む。

[0076] 以下、図4を参照して、光ディスク装置100の構成を説明する。光ディスク装置100は、光ヘッド102と、再生手段104と、復調・ECC回路106と、記録条件決定手段108と、記録補償回路109と、記録パワー設定手段111と、レーザ駆動回路112とを備える。

[0077] 図6は、記録時に光ヘッド102が照射する光の波形を示す。本実施の形態では、Run Length Limited(1, 7)変調方式のデータをマークエッジ記録方式で記録するものとする。この場合、最短2Tから最長8Tまで7種類のマークおよびスペースが存在する(Tは、基準周期を示す)。なお記録方式はマークエッジ記録方式に限定されず、他の記録方式でも良い。

[0078] 光の波形のパラメータには、記録パワーを示すパラメータとパルス位置を示すパラメータとがある。記録パワーを示すパラメータは、ピークパワー( $P_w$ )、バイアスパワー( $P_e$ )、ボトムパワー( $P_{bw}$ )を含む。パルス位置を示すパラメータは、 $T_{top}$ 、 $dT_{top}$ 、 $T_{mp}$ 、 $dTe$ を含む。ここで幅 $T_{mp}$ のパルスの立ち上がり位置、および先頭のパルスの $dT_{top}$ の起点はオリジナル信号との相対関係を規定する基準位置である。

[0079] 光ディスク101に形成するマークの長さに応じて、パルスの数が調整される。2Tマークは1つのパルスで記録され、3Tマークは2つのパルスで記録される。光ディスク101に形成するマークが1T長くなるに応じてパルスの数が1つ増える。

[0080] 一般に、光の波形のパラメータの一部(例えば、ピークパワー( $P_w$ )、バイアスパワー( $P_e$ )、ボトムパワー( $P_{bw}$ )、 $T_{mp}$ )は、マークの長さに依存しないが、光の波形のパラメータの他の一部(例えば、 $T_{top}$ 、 $dT_{top}$ 、 $dTe$ )はマークの長さに依存する。しかし、光の波形のパラメータをどのように設定するかは、任意である。

[0081] 以下、図4を参照して、光ディスク装置100の動作を説明する。以下に説明するように、光ディスク装置100は、複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を光ディスク101に記録する。例えば、複数の記録条件のそれぞれは、光の波形のパラメータを示す。

[0082] 光ディスク101が光ディスク装置100に装着され、光ディスク装置100の所定動作(ディスクタイプの識別および回転制御等)終了後、光ディスク101に含まれるテスト領域に移動するように光ヘッド102が制御される。テスト領域には、最適記録パワーお

および最適パルス位置を設定するためのテスト情報がテスト記録される。テスト領域は、例えば、光ディスク101の最内周に設けられているが、ユーザがデータを記録するユーザ領域以外の記録領域であれば、光ディスク101の最内周に設けられることに限定されない。テスト領域は、例えば、光ディスク101の最外周に設けられていてもよい。

- [0083] テスト記録時には、記録パワー設定手段111は、記録パワーの初期値(ピークパワー、バイアスパワー、ボトムパワーの初期)をレーザ駆動回路112に設定する。記録パワーの初期値は、光ディスク101作製時に予め光ディスク101に記録されているが、光ディスク101が光ディスク装置100に装着された時に、テスト記録によって記録パワーの初期値を算出し、算出された初期値を光ディスク101に記録し得る。
- [0084] テスト記録によって算出された記録パワーの初期値をレーザ駆動回路112に設定する場合は、光ディスク101作製時に予め光ディスク101に記録されている記録パワーの初期値をレーザ駆動回路112に設定する場合と比較して、光ディスクの品質および光ディスク装置の品質のばらつきを考慮して求められており、この値に基づけば、S/N比の確保できた良好な記録を行うことができる。
- [0085] 記録補償回路109は、信号110をレーザ駆動回路112に送る。
- [0086] レーザ駆動回路112は、信号110に基づいて、記録するマークの長さに応じて整形されたパルス列信号113を生成する。レーザ駆動回路112は、パルス列信号113を光ヘッド102に送り、光ヘッド102は、パルス列信号113に基づいて、光ディスク101にテスト信号をテスト記録する。光ヘッド102に備えられた半導体レーザの出力光は、光ディスク101上に光スポットとして集光され、半導体レーザは発光波形に応じた記録マークを光ディスク101に形成する。テスト信号の詳細は、後述される。
- [0087] なお、テスト記録の前に、テスト領域をバイアスパワーのみで記録し得る。バイアスパワーのみで記録することにより、テスト記録前にテスト領域に記録されていた信号がテスト領域から消去されるので、テスト記録前にテスト領域に記録されていた信号がテスト記録に与える影響を低減し得る。
- [0088] なお、光ヘッド102のレーザ光の波長は405nm程度であり、対物レンズのNA(Numerical Aperture)は0.85程度である。また最短マーク長は0.16ミクロン程度で

ある。

[0089] 図7は、3Tマークのパルス位置を最適化するために光ディスクに記録されたテスト信号を示す。テスト信号は、種々の条件を有し、グループトラックにテスト記録される。

[0090] このグループトラックは、テスト領域に含まれている。このグループトラックには、テスト信号が複数の条件で記録されている。具体的には、このグループトラックには、条件Aを有するテスト信号Aと、条件Bを有するテスト信号Bと、条件Cを有するテスト信号Cと、条件Dを有するテスト信号Dとがこの順番に複数回記録されている。記録されたこれらの信号を再生することによって得ることができた再生信号に基づいて、光ディスク101の周方向のチルトばらつきやディスクに付いた傷、汚れの影響を低減できる。

[0091] パルス位置を示す初期値は、例えば、条件Aを示す。条件Aを示す値が光ディスク101に予め記載されていても良いし、テスト記録の結果に基づいて予め求められていても良い。

[0092] パルス位置の初期値が光ディスク101に予め記載されている例の1つは、同一条件で作成された複数の光ディスクに共通する値が光ディスク作成時に記載される場合である。例えば、グループをウォブルすることによって予め記録しえる。パルス位置の初期値をテスト記録の結果に基づいて予め求めている例の1つは、前回光ディスク101を対象として最適化した記録パラメータをテスト領域に記録している場合である。光ディスク101作成時に記載された値および前回光ディスク101を対象として最適化した記録パラメータの値の両方が光ディスク101に記録されている場合には、前回光ディスク101を対象として最適化した記録パラメータの値を使用する方が望ましい。前回光ディスク101を対象として最適化した記録パラメータの値は、光ディスクの品質および光ディスク装置の品質のばらつきを考慮して求められており、この値に基づけば、S/N比の確保できた良好な記録を行うことができる。

[0093] なお、1周で4条件を記録する代わりに、1周で1条件の記録でも良く、また1回のテスト記録が1周以上でもよい。サンプル数を多くすることにより最適化の精度が向上する。

[0094] 図8は、パルス位置を最適化するための複数の条件の決定手順を説明するための

図である。なお、パルス位置を最適化するための複数の条件の決定手順は、記録条件決定手段108および記録補償回路109のうちの少なくとも一方によって実行される。

- [0095] 以下、図8を参照して、パルス位置を最適化するための条件の決定手順を説明する。
  - [0096] 図8(a)を参照して、3Tマークのパルス位置を最適化するための条件の決定手順を説明する。
  - [0097] パルス位置を示す初期値として、条件Aを決定する。条件Aを示す値は光ディスク101に予め記載されていても良いし、テスト記録の結果に基づいて予め求められても良い。光ディスク装置100は、光ヘッド102を制御することによって、光ディスク101に記録されている初期値を読み取る。
  - [0098] 初期条件Aに基づいて、条件B、条件Cおよび条件Dを決定する。例えば、条件AのTtopおよびdTtopを固定し、条件AのdTeを所定の大きさ( $\Delta dTe$ )だけ小さくすることによって、条件Bを決定する。条件AのTtopを所定の大きさ( $\Delta Ttop$ )だけ大きくし、条件AのdTtopを所定の大きさ( $\Delta dTtop$ )だけ大きくし、さらに条件AのdTeを固定することによって、条件Cを決定する。条件AのTtopを所定の大きさ( $\Delta Ttop$ )だけ大きくし、条件AのdTtopを所定の大きさ( $\Delta dTtop$ )だけ大きくし、さらに、条件AのdTeを所定の大きさ( $\Delta dTe$ )だけ小さくすることによって、条件Dを決定する。
  - [0099] なお、パルス位置の変更ステップ(例えば、 $\Delta Ttop$ 、 $\Delta dTtop$ 、 $\Delta dTe$ )はウインド幅の1%～7%程度が望ましい。
  - [0100] 図8(b)を参照して、2Tマークのパルス位置を最適化するための条件の決定手順を説明する。
  - [0101] パルス位置を示す初期値として、条件aを決定する。条件aを示す値は光ディスク101に予め記載されていても良いし、テスト記録の結果に基づいて予め求められても良い。
  - [0102] 条件aのTtopおよびdTtopを固定し、条件aのdTeを所定の大きさ( $\Delta dTe$ )だけ大きくすることによって、条件bを決定する。条件aのTtopを所定の大きさ( $\Delta Ttop$ )だけ大きくし、条件aのdTtopを所定の大きさ( $\Delta dTtop$ )だけ大きくし、さらに条件aのd

$T_e$ を固定することによって、条件cを決定する。条件aの $T_{top}$ を所定の大きさ( $\Delta T_{top}$ )だけ大きくし、条件aの $dT_{top}$ を所定の大きさ( $\Delta dT_{top}$ )だけ大きくし、さらに、条件aの $dTe$ を所定の大きさ( $\Delta dTe$ )だけ大きくすることによって、条件dを決定する。

- [0103] さらに、条件aの $T_{top}$ および $dT_{top}$ を固定し、条件aの $dTe$ を所定の大きさ( $\Delta dTe$ )だけ小さくすることによって、条件b'を決定する。条件aの $T_{top}$ を所定の大きさ( $\Delta T_{top}$ )だけ小さくし、条件aの $dT_{top}$ を所定の大きさ( $\Delta dT_{top}$ )だけ小さくし、さらに条件aの $dTe$ を固定することによって、条件c'を決定する。条件aの $T_{top}$ を所定の大きさ( $\Delta T_{top}$ )だけ小さくし、条件aの $dT_{top}$ を所定の大きさ( $\Delta dT_{top}$ )だけ小さくし、さらに、条件aの $dTe$ を所定の大きさ( $\Delta dTe$ )だけ小さくすることによって、条件d'を決定する。
- [0104] なお、パルス位置の変更ステップ(例えば、 $\Delta T_{top}$ 、 $\Delta dT_{top}$ 、 $\Delta dTe$ )はウインド幅の1%～7%程度が望ましい。
- [0105] 2Tのパルス位置を示すパラメータを条件a、条件b、条件cおよび条件d(図8(b)参照)に設定し、これらの条件を示すテスト信号を記録再生することによって、指標Mが最も小さい条件を仮決定する。続いて、2Tのパルス位置を示すパラメータを条件a、条件b'、条件c'、条件d'(図8(b)参照)に設定し、これらの条件を示すテスト信号を記録再生することによって、指標Mが最も小さい条件を仮決定する。仮決定された2つの条件のうち、指標Mが小さい方を2Tのパルス位置を示す条件として決定する。
- [0106] 3Tマークのパルス位置を変更するときは3Tマーク以外のマークのパルス位置を変更せず、同様に2Tマークのパルス位置を変更するときは2Tマーク以外のマークのパルス位置を変更しない。記録するデータはランダムパターンでも良いし、特定のパターンに固定しても良い。またパルス位置の変更ステップはウインド幅の1%～7%程度が望ましい。
- [0107] 指標Mを小さくするための方法の一つは2Tマークと3Tマークの識別を正しく行うことであり、本実施の形態のように2Tマーク、3Tマークのどちらか一方もしくは両方のパルス位置を最適化することにより、より正しく記録できる。
- [0108] なお、本実施の形態では、4つの条件によってテスト記録再生することによって3Tマークの最適パルス位置を1回で決定し、7つの条件を2回に分けてテスト記録再生

することによって2Tマークの最適パルス位置を決定するが、決定手順はこれに限らない。また本実施の形態ではTtopとdTtopを同時に決定しているが、決定手順はこれに限らない。

- [0109] さらに、本実施の形態において、3Tマークを4つの条件に対応したパルス位置により記録しているが、初期条件を除く3つの条件はいずれも3Tマークが長く記録される条件である。出現頻度の高い2Tマークの識別をより確実に行うために、3Tマークが長くなる条件で最適条件が見つかる確率が高い。
- [0110] さらに、本実施の形態において、2Tマークを7つの条件に対応したパルス位置により記録しているが、2T信号は光ディスクと光ディスク装置のばらつきによりS/N比が大きく変わるので、一定の方向のみの探索を行わない。なお図8(b)において、右上の条件と、左下の条件は初期状態と比較してマーク長が大きく変わる危険性があるので、本実施の形態では探索を行っていない。
- [0111] さらに、本実施の形態における2Tマークと3Tマークを記録する際のパルス決定条件は、初期条件が、本実施の形態と同様の手順で決定されているか、または従来例に記載した手順と同様にジッタが小さくなる手順で決定されている場合に有効であり、初期条件と最適条件が近いという根拠がない場合には、本実施の形態と異なるパルス決定条件にしても良い。
- [0112] 再び、図4を参照して、光ディスク装置100の動作の説明を続ける。
- [0113] 3Tマークのパルス位置を示すテスト信号A、テスト信号B、テスト信号C、テスト信号Dのテスト記録が終わると、レーザ駆動回路112は、光ヘッド102が光ディスク101に記録されたテスト信号A、テスト信号B、テスト信号C、テスト信号Dを再生するように、光ヘッド102を制御する。テスト信号A、テスト信号B、テスト信号C、テスト信号Dを再生することによって生成された再生信号103は、再生手段104に入力される。再生信号103は、光ディスク101に形成された記録マークの有無に応じて変化する。
- [0114] 図9は、再生手段104の構成を示す。再生手段104は、プリアンプ201と、ハイパスフィルタ202と、AGC回路203と、波形等化器204と、A/D変換器205と、整形部206と、最尤復号器207と、信頼性計算部208とを備える。
- [0115] 整形部206は例えばデジタルフィルタであり、A/D変換器205が生成したデジタ

ル信号を受け取ってデジタル信号が所定の等化特性を有するようにデジタル信号の波形を整形する。

- [0116] 最尤復号器207は例えばビタビ復号回路であり、整形部206から出力された波形が整形されたデジタル信号を最尤復号し、最尤復号の結果を示す2値化信号を生成する。
- [0117] 信頼性計算部208は例えば差分メトリック解析器であり、整形部206から出力された波形が整形されたデジタル信号と最尤復号器207から出力された2値化信号とに基づいて最尤復号の結果の信頼性を計算する。最尤復号の結果の信頼性は、整形部206から出力された波形が整形されたデジタル信号と最尤復号器207から出力された2値化信号との乖離または整形部206から出力された波形が整形されたデジタル信号と最尤復号器207から出力された2値化信号に基づいて生成された信号との乖離によって示される。
- [0118] プリアンプ201は、信号103を増幅する。増幅された信号103は、ハイパスフィルタ202でACカッピングされたのちAGC203に入力される。AGC203は、波形等化器204の出力が一定振幅となるようゲインを調整する。AGC203から出力された再生信号は波形等化器204によって波形整形される。波形整形された再生信号はA/D変換器205に入力される。A/D変換器205はクロック209で再生信号をサンプリングする。クロック209はPLL(図示せず)によって再生信号に基づいて生成される。
- [0119] A/D変換器205のサンプリングにより生成された再生信号は整形部206に入力される。整形部206は、記録時および再生時の再生信号の周波数特性が最尤復号器207の想定する特性(本実施の形態ではPR(1, 2, 2, 1)等化特性)となるように再生信号の周波数を調整する(すなわち再生信号の波形を整形する)。
- [0120] 最尤復号器207は、整形部206から出力された波形整形された再生信号を最尤復号し、2値化信号を生成する。信頼性計算部208は、整形部206から出力された波形整形された再生信号と、2値化信号とを受け取る。信頼性計算部208は、2値化信号から状態遷移を判別する。信頼性計算部208は、判別結果とデータ210とに基づいて復号結果の信頼性を示す指標M((式6)参照)を算出する。信頼性計算部208は、複数のテスト信号Aに対応する再生信号に基づいて指標Mを算出し、さらに、算

出された複数の指標Mの平均を算出する。さらに、信頼性計算部208は、複数のテスト信号B、複数のテスト信号Cおよび複数のテスト信号Dのそれぞれに対しても、複数のテスト信号Aに対する場合と同様に、指標Mの平均を算出する。

- [0121] 出力結果107が記録条件決定手段108に送られる。出力結果107には、これらの平均値が含まれる。
- [0122] 記録条件決定手段108は、出力結果107に含まれた複数の平均値のうち、最も小さい値に対応する条件を3Tマークのパルス位置条件として選択(決定)する。なお、複数の平均値が一致または同程度の場合には、予め割り当てられた優先順位に従って、値を決定しえる。例えば、複数のテスト信号Dに基づく複数の指標の平均よりも、複数のテスト信号Cに基づく複数の指標の平均を優先し得る。複数のテスト信号Cに基づく複数の指標の平均よりも、複数のテスト信号Bに基づく複数の指標の平均を優先し得る。複数のテスト信号Bに基づく複数の指標の平均よりも、複数のテスト信号Aに基づく複数の指標の平均を優先し得る。
- [0123] なお、テスト信号A、テスト信号B、テスト信号Cおよびテスト信号Dがそれぞれ複数であることに限定されない。テスト信号A、テスト信号B、テスト信号Cおよびテスト信号Dがそれぞれ複数でない場合には、それぞれのテスト信号に基づく指標の平均を算出する必要はない。
- [0124] なお、複数のテスト信号を最尤復号し、最尤復号の結果を示す複数の2値化信号を生成し、信頼性計算部208によって複数のテスト信号と複数の2値化信号とに基づいて、復号の結果の信頼性を示す指標Mを計算する形態を説明したが、信頼性を示す指標の計算は、この形態に限定されない。例えば、テスト信号に基づいて最尤復号器207によって生成された複数のパスを示す信号が、信頼性計算部208に入力された場合には、信頼性計算部208はテスト信号と複数のパスとに基づいて、テスト信号の信頼性を示す複数の指標を計算する。例えば、信頼性計算部208は、テスト信号とパスAとの乖離およびテスト信号とパスBとの乖離を計算する。信頼性計算部208は、これらの乖離を参照して、テスト信号の信頼性を示す指標を計算する。記録条件決定手段408は複数のテスト信号の信頼性を示す複数の指標に基づいて、複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択しえる。

[0125] 以上、3Tマークのパルス位置を示すパラメータを最適に決定した。このパラメータに従って、光に含まれる複数の光パルスの相対位置が決定し、この光を光ディスク101に照射することによって、最適な3Tマークを光ディスク101に形成することができる。

[0126] 2Tマークのパルス位置を示すパラメータの最適化は、3Tマークのパルス位置を示すパラメータの最適化と同様に行われる。

[0127] 以下、2Tマークのパルス位置を示すパラメータを最適に決定する手順を説明する。

[0128] 2Tマークのパルス位置を示すテスト信号a、テスト信号b、テスト信号c、テスト信号d、テスト信号b'、テスト信号c'、テスト信号d'のテスト記録が終わると、レーザ駆動回路112は、光ヘッド102が光ディスク101に記録されたこれらのテスト信号を再生するように、光ヘッド102を制御する。これらのテスト信号を再生することによって生成された再生信号103は、再生手段104に入力される。再生信号103は、光ディスク101に形成された記録マークの有無に応じて変化する。

[0129] 信頼性計算部208は、複数のテスト信号aに対応する再生信号に基づいて指標Mを算出し、さらに、算出された複数の指標Mの平均を算出する。さらに、信頼性計算部208は、複数のテスト信号b、複数のテスト信号cおよび複数のテスト信号dのそれぞれに対しても、複数のテスト信号aに対する場合と同様に、指標Mの平均を算出する。

[0130] 出力結果107が記録条件決定手段108に送られる。出力結果107には、これらの平均値が含まれる。

[0131] 記録条件決定手段108は、出力結果107に含まれた複数の平均値のうち、最も小さい値に対応する条件を2Tマークのパルス位置条件として1回目の仮決定を行う。

[0132] さらに、信頼性計算部208は、信頼性計算部208は、複数のテスト信号a、複数のテスト信号b'、複数のテスト信号c'および複数のテスト信号d'のそれぞれに対して、指標Mの平均を算出する。

[0133] 出力結果107が記録条件決定手段108に送られる。出力結果107には、これらの平均値が含まれる。

[0134] 記録条件決定手段108は、出力結果107に含まれた複数の平均値のうち、最も小さい値に対応する条件を2Tマークのパルス位置条件として2回目の仮決定を行う。

[0135] 記録条件決定手段108は、1回目の仮決定で求められた条件と2回目の仮決定で求められた条件とのうち、最も小さい値に対応する条件を2Tマークのパルス位置条件として決定する。

[0136] 1回目の仮決定のために算出したテスト信号aに基づく指標Mと2回目の仮決定のために算出したテスト信号aに基づく指標Mとが異なるときには、それぞれの指標を正規化した上で最も小さい値に対応する条件をTマークのパルス位置条件として決定する。例えば、1回目の仮決定のために算出したテスト信号aに基づく指標Mに基づいて、複数のテスト信号bに基づく指標、複数のテスト信号cに基づく指標および複数のテスト信号dに基づく指標を正規化する。さらに、2回目の仮決定のために算出したテスト信号aに基づく指標Mに基づいて、複数のテスト信号b'に基づく指標、複数のテスト信号c'に基づく指標および複数のテスト信号d'に基づく指標を正規化する。なお、2Tのパルス位置条件を決定するための記録を行う際には、直前の3Tのパルス位置決定条件が反映されているものとする。

[0137] なお、複数の平均値が一致または同程度の場合には、予め割り当てられた優先順位に従って、値を決定しえる。例えば、複数のテスト信号dに基づく複数の指標の平均よりも、複数のテスト信号cに基づく複数の指標の平均を優先し得る。複数のテスト信号cに基づく複数の指標の平均よりも、複数のテスト信号bに基づく複数の指標の平均を優先し得る。複数のテスト信号bに基づく複数の指標の平均よりも、複数のテスト信号aに基づく複数の指標の平均を優先し得る。例えば、複数のテスト信号d'に基づく複数の指標の平均よりも、複数のテスト信号c'に基づく複数の指標の平均を優先し得る。複数のテスト信号c'に基づく複数の指標の平均よりも、複数のテスト信号b'に基づく複数の指標の平均を優先し得る。さらに、例えば、優先順位は、複数のテスト信号a、複数のテスト信号b'、複数のテスト信号b、複数のテスト信号d'、複数のテスト信号c'、複数のテスト信号d、複数のテスト信号cまたは複数のテスト信号a、複数のテスト信号b、複数のテスト信号b'、複数のテスト信

号d、複数のテスト信号c、複数のテスト信号d'、複数のテスト信号c'でありえる。

[0138] なお、テスト信号a、テスト信号b、テスト信号c、テスト信号d、テスト信号b'、テスト信号c'、テスト信号d'がそれぞれ複数であることに限定されない。これらのテスト信号がそれぞれ複数でない場合には、それぞれのテスト信号に基づく指標の平均を算出する必要はない。

[0139] 以上、2Tマークのパルス位置を示すパラメータを最適に決定した。このパラメータに従って、光に含まれる複数の光パルスの相対位置が決定し、この光を光ディスク101に照射することによって、最適な2Tマークを光ディスク101に形成することができる。

[0140] 本実施の形態における光波形のパラメータのうち、一般にdTeがTtopおよびdTto pよりも、1ステップの変更に対する記録マーク形状の変動が小さい。初期条件を最優先し、続いて記録マーク形状の変動が小さい条件を優先させることにより、初期条件と本実施の形態のパルス位置変更条件とを両立する条件に決定できる。その結果、本実施の形態の様な回路構成を持たない再生装置における再生安定性を向上することができる。

[0141] 例えば、初期条件が所定のジッタ以下となるように決められている場合には、本実施の形態の様な優先順位を設けることにより、ジッタと指標Mが共に良好になるようなパルス位置に決定することができる。前述のように、クロック209はPLLから出力されており、ジッタはPLLの安定動作の指標であることから、ジッタと指標Mが共に良好である条件を求めるこにより、より正しい記録再生を行うことができる。また、初期条件が、図11に示すような回路構成によりエッジ間隔測定回路1108の出力信号が小さくなるような条件に決定されていれば、本実施の形態の様な優先順位を設けることにより、エッジシフトが小さく、かつ指標Mが良好になるようにパルス位置を決定することができる。このように、本発明の実施の形態によれば、エッジシフト量およびジッタのうちの少なくとも一方に基づいて、初期条件を決定しえる。

[0142] 以上の様に、本発明の実施の形態の記録方法によれば、ユーザデータの記録前にテスト記録を行い、指標Mが小さくなる条件でユーザデータの記録を行うことにより、最短マーク長が短い場合でも正しい記録を行うことができる。

[0143] なお、2Tマークのパルス位置を最適化するための条件の決定および3Tマークのパルス位置を最適化するための条件の決定において、初期条件から1ステップ異なるパルス位置までしか探索せず、パルス位置の移動に制限を設けている。例えば、初期条件が所定のジッタ以下となるように決められている場合には、本実施の形態の様な優先順位を設けることにより、ジッタ劣化が小さく、かつ指標Mが良好なパルス位置に決定することができる。さらに、探索のステップを繰り返し行うことにより2ステップ以上異なるパルス位置を探索しても良い。この場合には、あるステップで決定したパルス位置を次回のステップでの初期値としてもよい。

[0144] さらに、初期条件が、図11に示すような回路構成によりエッジ間隔測定回路1108の出力信号が小さくなるような記録条件に決定されていれば、本実施の形態の様な優先順位を設けることにより、エッジシフトが小さく、かつ指標Mが良好なパルス位置に決定することができる。

[0145] さらに、記録パワー(ピークパワー、バイアスパワー、ボトムパワー等)を示すパラメータをテスト記録により決定しても良い。

[0146] さらに、本実施の形態によれば、指標Mの大きさ、すなわち8個のパターン((式4)参照)から算出された標準偏差 $\sigma_{10}$ ((式5)参照)を基準にしてパルス位置条件を決定しているが、8個のパターンを4個づつに分け、各々の標準偏差からパルス位置最適条件を決定しても良い。すなわち、cの値((式4)参照)が1のときをマークとすると、Pattern-1、Pattern-2、Pattern-3、Pattern-4はマーク終端エッジに関し、Pattern-5、Pattern-6、Pattern-7、Pattern-8はマーク始端エッジに関する。このように、始端エッジと終端エッジとを区別して、標準偏差が大きい方のエッジを優先的に最適化しても良い。更には8個のパターンの中で標準偏差が大きいパターンのエッジを優先的に最適化しても良い。

[0147] 例えば、Pattern-3における標準偏差が所定値よりも大きいときには、2Tマーク、3Tスペースと続く場合と、3Tマーク、2Tスペースと続く場合の区別が明確でないことを示す。したがって、2Tマークの終端エッジの立下り位置を早くすることによって、または3Tマークの終端エッジの立下り位置を遅くすることによって再度記録を行い、標準偏差が小さい方に決定すれば良い。なお、マークとスペースの組み合わせでエッ

ジ位置を決定できる場合には、2Tマーク、3Tスペースと続く組み合わせにおける2Tマークの終端エッジの立下り位置を早くすることによって、または3Tマーク、2Tスペースの組み合わせにおける3Tマークの終端エッジの立下り位置を遅くすることによって、再度記録を行い、標準偏差が小さい方に決定すれば良い。その結果、より精度良くエッジ位置を最適化できる。

[0148] 同様に、例えば、Pattern-5における標準偏差が所定値よりも大きいときには、3T以上のスペース、3Tマークと続く場合と、4T以上のスペース、2Tマークと続く場合の区別が明確でないことを示す。したがって、3Tマークの始端エッジの立ち上がり位置を早くすることによって、または2Tマークの始端エッジの立ち上がり位置を遅くすることによって、再度記録を行い、標準偏差が小さい方に決定すれば良い。このときも、マークとスペースの組み合わせでエッジ位置を決定できる場合には、3T以上のスペース、3Tマークの組み合わせにおける3Tマークの始端エッジの立ち上がり位置を早くすることによって、または4T以上のスペース、2Tマークの組み合わせにおける2Tマークの始端エッジの立ち上がり位置を遅くすることによって、標準偏差が小さい方に決定すれば良い。その結果、より精度良くエッジ位置を最適化できる。

[0149] さらに、本実施の形態では、3Tマーク、2Tマークについて最適なパルス位置を決定しているが、最適パルス位置の決定は2Tマークだけでも良い。2Tマークは出現頻度が最も高いので2Tマークのパルス位置を最適化することにより、従来よりも正しい記録が実現できるとともに、最適パルス位置の決定に要する時間を短縮できる。

[0150] さらに、本実施の形態では3Tマークおよび2Tマークの最適なパルス位置を決定しているが、4Tマークのパルス位置の最適化を行い得る。4Tマークの最適なパルス位置を決定することにより、より正しい記録を行うことができる。同様に最適パルス位置の決定に要する時間に余裕があるのであれば全てのマークの最適なパルス位置を決定し得る。

[0151] さらに、本実施の形態では、記録符号として最小極性反転間隔が2である符号を用いて、PR(1, 2, 2, 1)等化を行う場合について説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、記録符号が(1, 7)変調符号のような最小極性反転間隔が2の場合では上記実施例が適用でき、DVDに使用されている8-16変調符号のような最小極

性反転間隔が3である場合ではPR(1, 2, 2, 1)等化により時刻kにおいては6つの状態が存在し、時刻k+1の6つの状態へとり得る状態遷移を8通りに制限される状態遷移則を用いることにより本発明は実施可能である。したがって、最小極性反転間隔が3である記録符号と等化方式PR(C0, C1, C1, C0)とから定まる状態遷移則を用いた場合や、最小極性反転間隔が2または3である記録符号と等化方式PR(C0, C1, C0)とから定まる状態遷移則を用いた場合や、最小極性反転間隔が2または3である記録符号と等化方式PR(C0, C1, C2, C1, C0)とから定まる状態遷移則を用いた場合においても適用できる。C0, C1, C2は任意の正の数である。

- [0152] 以上、本発明の実施の形態の光ディスク装置100の構成および動作を説明した。
- [0153] 図4および図9に示された例では、光ディスク装置100が「複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を記録媒体に記録する記録装置」に対応し、光ヘッド102とレーザ駆動回路112とが「複数の記録条件で、複数のテスト情報を記録媒体に記録する第1記録手段」に対応し、光ヘッド102とレーザ駆動回路112と記録条件決定手段108と再生手段104とが「複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、情報を記録媒体に記録する第2記録手段」に対応し、信頼性計算部208が「記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出する算出部」に対応し、記録条件決定手段108が「乖離を参照することによって、複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択する選択部」に対応する。
- [0154] しかし、本発明の光ディスク装置100が図4および図9に示されるものに限定されるわけではない。上述した各手段の機能が達成される限りは、任意の構成を有する装置が本発明の範囲内に含まれ得る。
- [0155] 例えば、光ディスク装置100によって、記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号と所望パターンを示す所望信号との乖離を参照することができる限りは、乖離が指標Mによって表されることに限定されない。テスト信号の波形と予め推定されたパターンとを比較することによって、テスト信号の波形のパターンと予め推定されたパターンとの差分を判定し、判定結果に基づいて、記録条件を選択しえる。

[0156] さらに、予め推定されたパターンは、2つのパターンに限らない。予め推定されたパターンの数が、少なくとも1つある場合には、少なくとも1つのパターンとテスト信号との乖離を算出することによって、複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択しえる。

[0157] さらに、予め推定されたパターンは、2Tマークまたは2Tスペースを示すパターンに限定されない。nTマークまたはnTスペースを示すパターンでよい(nは、正の整数)。さらに、予め推定されたパターンは、複数のパターンの組み合わせでありえる。例えば、予め推定されたパターンは、2Tマークを示すパターン、2Tスペースを示すパターンおよび3Tマークを示すパターンの組み合わせでありえる。

[0158] さらに、予め推定されたパターンは、予め光ディスク装置に備えられた格納部に格納されていることに限定されない。予め推定されたパターンは、テスト信号が再生された後、光ディスク装置が生成し得る。光ディスク装置は、予め、理想形状を有するパターンがどのような形状を有しているか知っているからである。

[0159] さらに、図4および図9に示される実施の形態で説明した各手段は、ハードウェアによって実現されてもよいし、ソフトウェアによって実現されてもよいし、ハードウェアとソフトウェアとによって実現されてもよい。ハードウェアによって実現される場合でも、ソフトウェアによって実現される場合でも、ハードウェアとソフトウェアとによって実現される場合でも、光ディスク装置によって、「複数の記録条件で、複数のテスト情報を記録媒体に記録するステップ」と、「複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、情報を記録媒体に記録するステップ」と、「記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出するステップ」と、「乖離を参照することによって、複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップ」とを含む本発明の記録処理が実行され得る。本発明の記録処理は、上述した各ステップを実行し得る限り、任意の手順を有し得る。

[0160] 例えば、本発明の光ディスク装置には、光ディスク装置の機能を実行させるための記録処理プログラムが格納されている。記録処理プログラムは、光ディスク装置の機能を実行させる。

[0161] 記録処理プログラムは、コンピュータの出荷時に、光ディスク装置に含まれる格納手段に予め格納されていてもよい。あるいは、コンピュータの出荷後に、記録処理プログラムを格納手段に格納するようにしてもよい。例えば、ユーザがインターネット上の特定のウェブサイトから記録処理プログラムを有料または無料でダウンロードし、そのダウンロードされたプログラムをコンピュータにインストールするようにしてもよい。記録処理プログラムがフレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROMなどのコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録されている場合には、入力装置(例えば、ディスクドライブ装置)を用いてアクセス処理をコンピュータにインストールするようにしてもよい。インストールされた記録処理プログラムは、格納手段に格納される。

[0162] さらに、記録制御装置(整形部206と最尤復号部207と信頼性算出部208と記録条件決定手段108)は、1チップ化されたLSI(半導体集積回路)またはその一部として製造され得る。記録制御装置が、1チップ化されたLSIとして製造される場合には、光ディスク装置の製造工程を容易にすることができる。

[0163] 以上のように、本発明の好ましい実施形態を用いて本発明を例示してきたが、本発明は、この実施形態に限定して解釈されるべきものではない。本発明は、特許請求の範囲によってのみその範囲が解釈されるべきであることが理解される。当業者は、本発明の具体的な好ましい実施形態の記載から、本発明の記載および技術常識に基づいて等価な範囲を実施することができる事が理解される。本明細書において引用した特許、特許出願および文献は、その内容自体が具体的に本明細書に記載されているのと同様にその内容が本明細書に対する参考として援用されるべきであることが理解される。

### 産業上の利用可能性

[0164] 本発明の記録方法は、光ディスクへの高密度記録を行う際に有用である。

[0165] 本発明の記録方法、記録装置、プログラムおよび記録制御装置によれば、複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号と所望信号との乖離を算出し、複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択する。したがって、1つの記録条件を所望信号の条件に整合させるために、複数の記録条件から1つの記録条件を選択するだけで、所望信号の条件に近い条件で情報を記録媒体に記録すること

ができる。その結果、簡単な回路構成で記録パラメータの最適化を図ることができる。

[0166] さらに、本発明の記録方法によれば、ユーザデータの記録前にテスト記録を行い、PRML誤差指標Mが小さくなる条件でユーザデータを記録するため、最短マーク長が短い場合でも正しい記録を行うことができる。

[0167] さらに、本発明の記録方法によれば、ユーザデータの記録前にテスト記録を行い、PRML誤差指標Mが小さくなる条件でユーザデータの記録を行うことにより、光ディスクの品質のばらつきや光ディスク装置の品質のばらつきに影響されることなく、データを正確に記録できる。

## 請求の範囲

[1] 複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を記録媒体に記録する記録方法であって、  
(a) 前記複数の記録条件で、複数のテスト情報を前記記録媒体に記録するステップと、  
(b) 前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、前記情報を前記記録媒体に記録するステップとを包含し、  
前記ステップ(b)は、  
(b-1) 前記記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出するステップと、  
(b-2) 前記乖離を参照することによって、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップとを包含する記録方法。

[2] 前記ステップ(a)は、  
(a-1) 初期条件を決定するステップと、  
(a-2) 前記初期条件に基づいて、少なくとも1つの記録条件を決定するステップとを包含し、  
前記複数の記録条件は、前記初期条件と前記決定された少なくとも1つの記録条件とを含む、請求項1に記載の記録方法。

[3] 前記ステップ(b-1)は、  
前記記録媒体から前記複数のテスト情報を再生することによって、前記複数のテスト信号を得るステップと、  
前記複数のテスト信号を最尤復号し、前記最尤復号の結果を示す複数の2値化信号を生成するステップと、  
前記複数のテスト信号と前記複数の2値化信号とに基づいて、前記最尤復号の結果の信頼性を計算する計算ステップと

を包含し、

前記ステップ(b-2)は、前記信頼性を示す複数の値に基づいて、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップを包含する、請求項1に記載の記録方法。

[4] 前記ステップ(b-2)は、前記複数の記録条件のうち、前記信頼性を示す複数の値のうちの最小値に対応する記録条件を選択するステップを包含する、請求項3に記載の記録方法。

[5] 前記ステップ(b-1)は、

前記記録媒体から前記複数のテスト情報を再生することによって、前記複数のテスト信号を得るステップと、

前記複数のテスト信号のそれぞれに基づいて、複数のパスを生成するステップと、

前記複数のテスト信号のそれぞれと前記複数のパスとにに基づいて、前記複数のテスト信号の信頼性を示す複数の指標を計算する計算ステップと

を包含し、

前記ステップ(b-2)は、前記複数の指標に基づいて、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップを包含する、請求項1に記載の記録方法。

[6] 前記ステップ(b-2)は、前記複数の記録条件のうち、前記複数の指標のうちの最小値に対応する記録条件を選択するステップを包含する、請求項5に記載の記録方法。

[7] 前記複数の記録条件には、選択される優先順位が付されている、請求項1に記載の記録方法。

[8] 前記ステップ(b)は、

前記選択された1つの記録条件に従って、光に含まれる複数の光パルスの相対位置を決定するステップと、

前記光を前記記録媒体に照射することによって、所定の長さを有する複数の記録マークを前記記録媒体に形成するステップと

を包含する、請求項1に記載の記録方法。

[9] 前記所定の長さを有する複数の記録マークは、最短記録マークを含む、請求項8

に記載の記録方法。

- [10] 前記所定の長さを有する複数の記録マークは、最短記録マークの次に長い記録マークを含む、請求項8に記載の記録方法。
- [11] 前記初期条件は、前記記録媒体作製時に前記記録媒体に記録されている、請求項2に記載の記録方法。
- [12] エッジシフト量およびジッタのうちの少なくとも一方に基づいて、所定の記録条件を決定するステップをさらに包含し、  
前記所定の記録条件は、前記複数の記録条件に含まれる、請求項2に記載の記録方法。
- [13] 前記ステップ(a-1)は、前記所定の記録条件を前記初期条件として決定するステップを包含する、請求項12に記載の記録方法。
- [14] 複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を記録媒体に記録する記録装置であつて、  
前記複数の記録条件で、複数のテスト情報を前記記録媒体に記録する第1記録手段と  
前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、前記情報を前記記録媒体に記録する第2記録手段と  
を備え、  
前記第2記録手段は、  
前記記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出する算出部と、  
前記乖離を参照することによって、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択する選択部と  
を備えた、記録装置。  
[15] 複数の記録条件のうちの1つの記録条件で情報を記録媒体に記録する記録処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであつて、  
前記記録処理は、  
(a) 前記複数の記録条件で、複数のテスト情報を前記記録媒体に記録するステップ

と、

(b) 前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、前記情報を前記記録媒体に記録するステップと

を包含し、

前記ステップ(b)は、

(b-1) 前記記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出するステップと、

(b-2) 前記乖離を参照することによって、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するステップと

を包含する、プログラム。

[16] 複数の記録条件のうちの1つの記録条件で、情報を記録媒体に記録するための記録制御装置であって、

前記記録媒体に記録された複数のテスト情報を再生することによって得られた複数のテスト信号のそれぞれと少なくとも1つの所望信号との乖離を算出するための算出部と、

前記乖離を参照することによって、前記複数の記録条件のうちの1つの記録条件を選択するための選択部と

を備えた、記録制御装置。

[図1]

図1

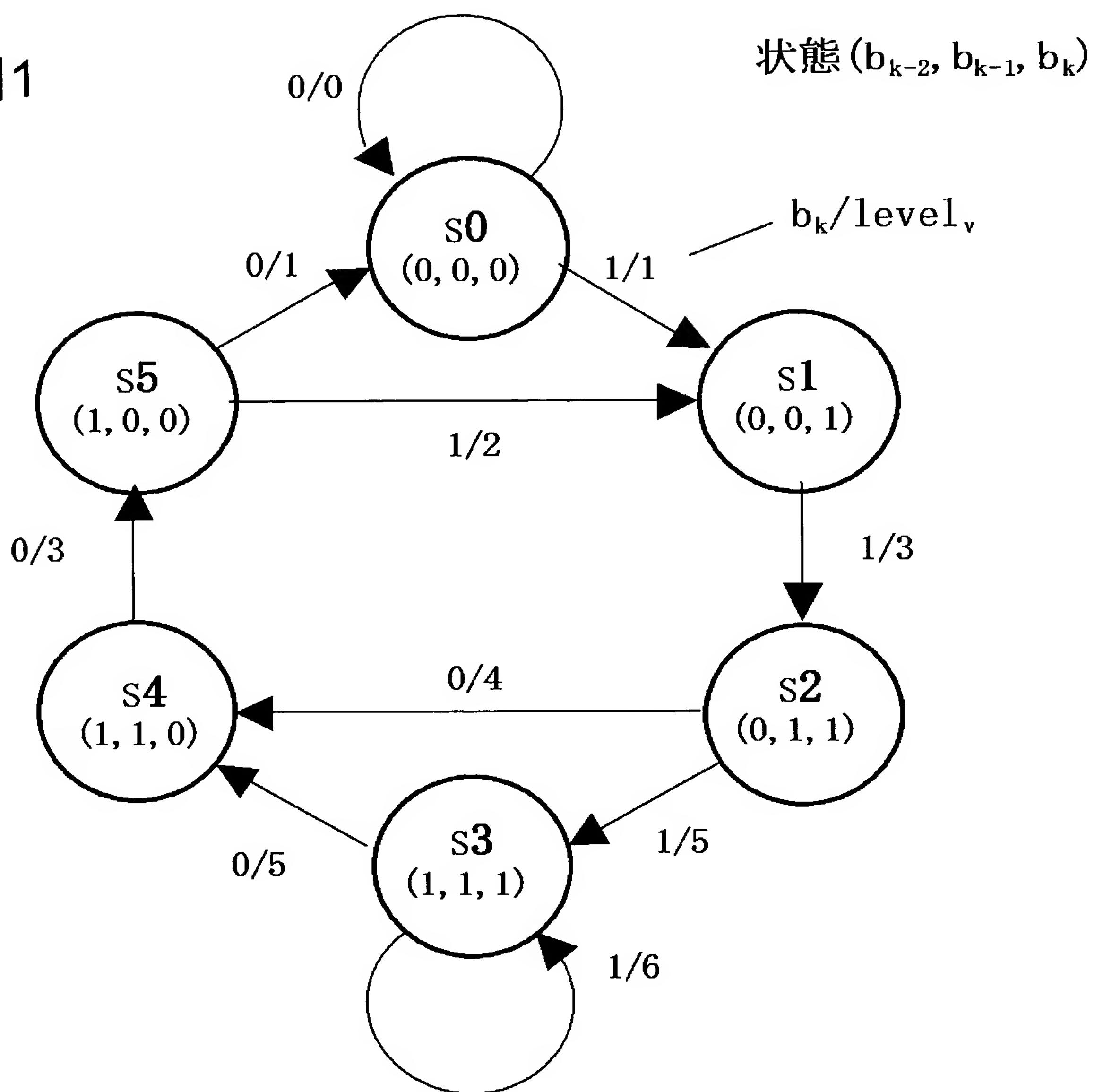


図2

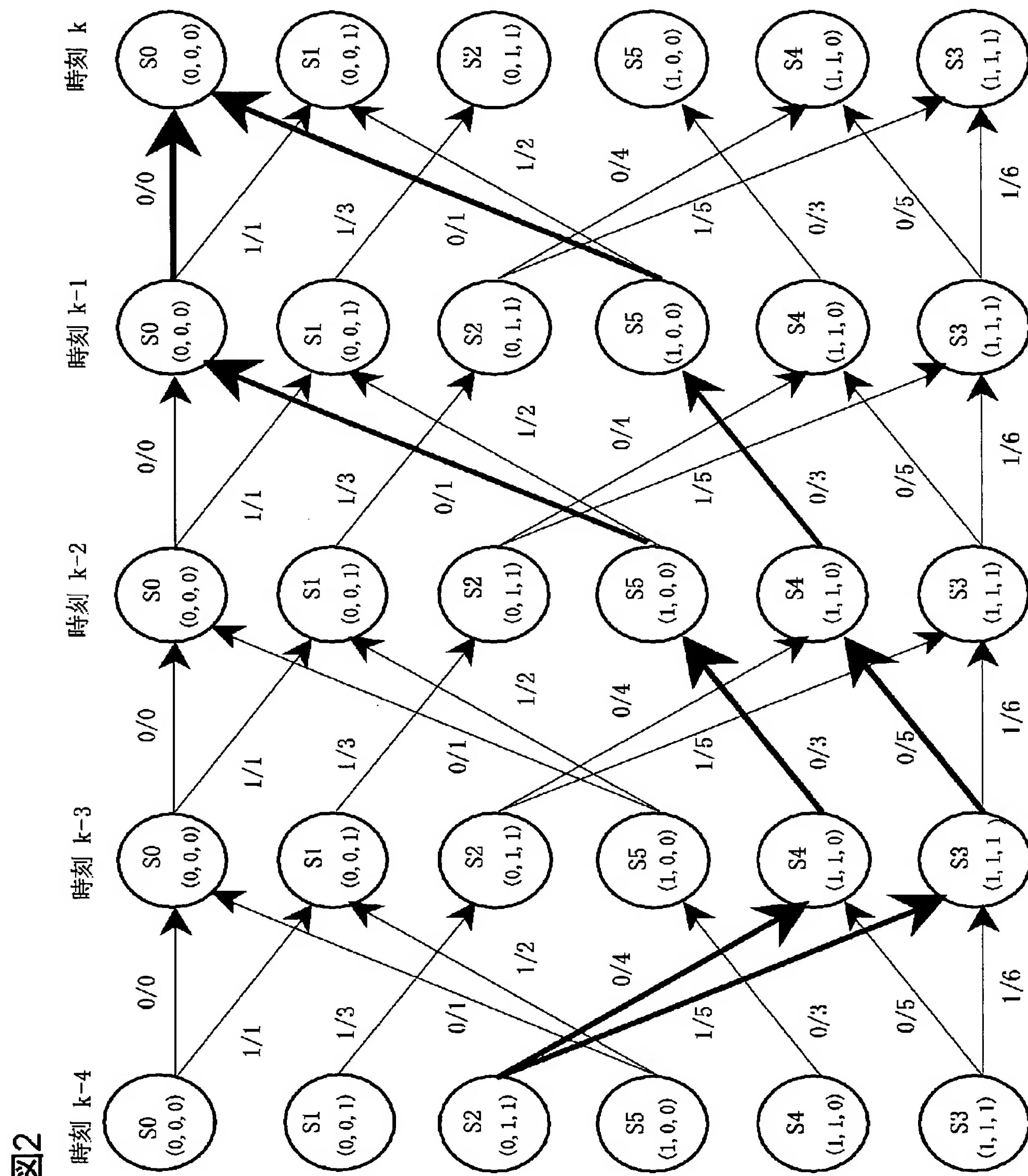
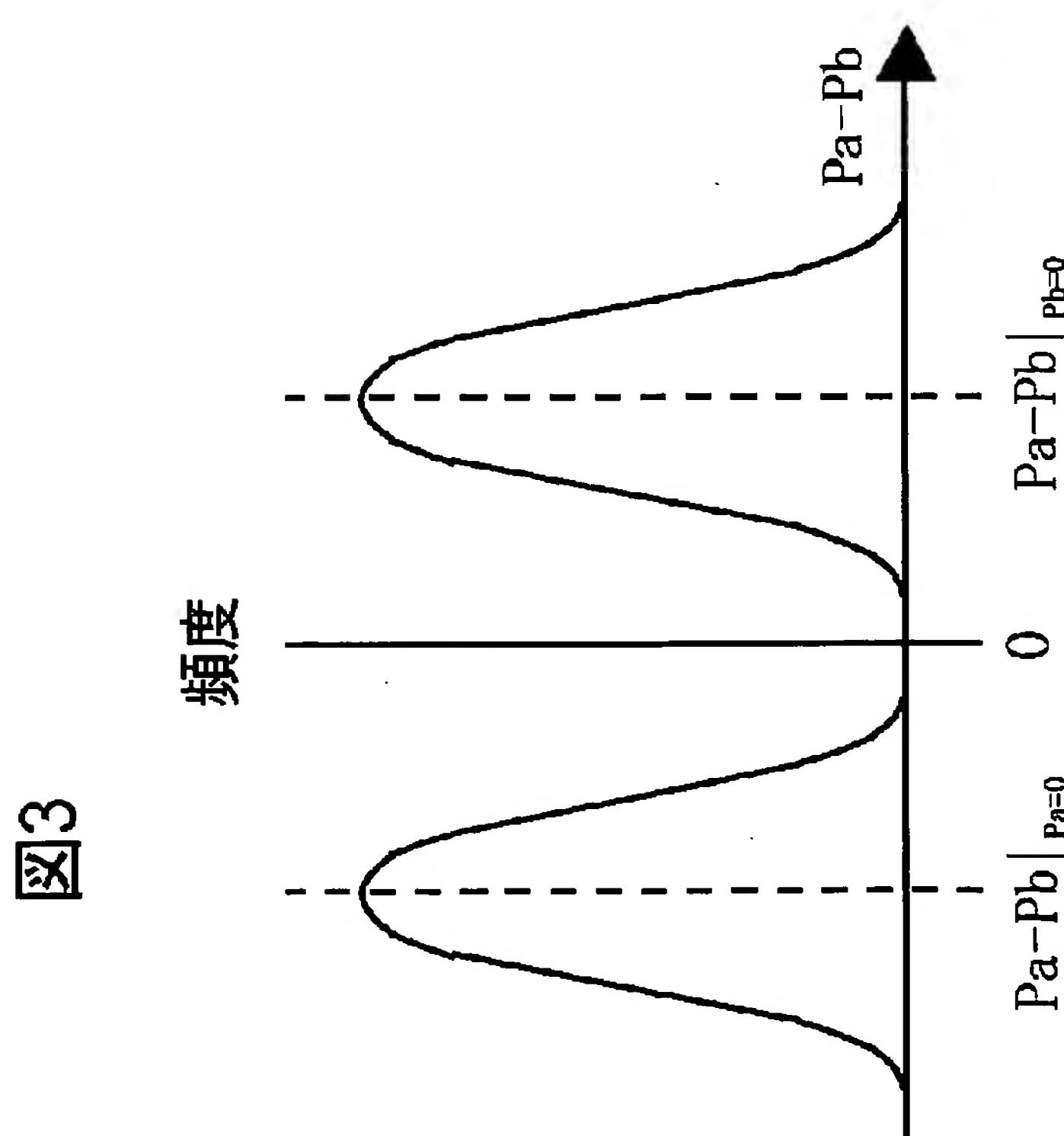
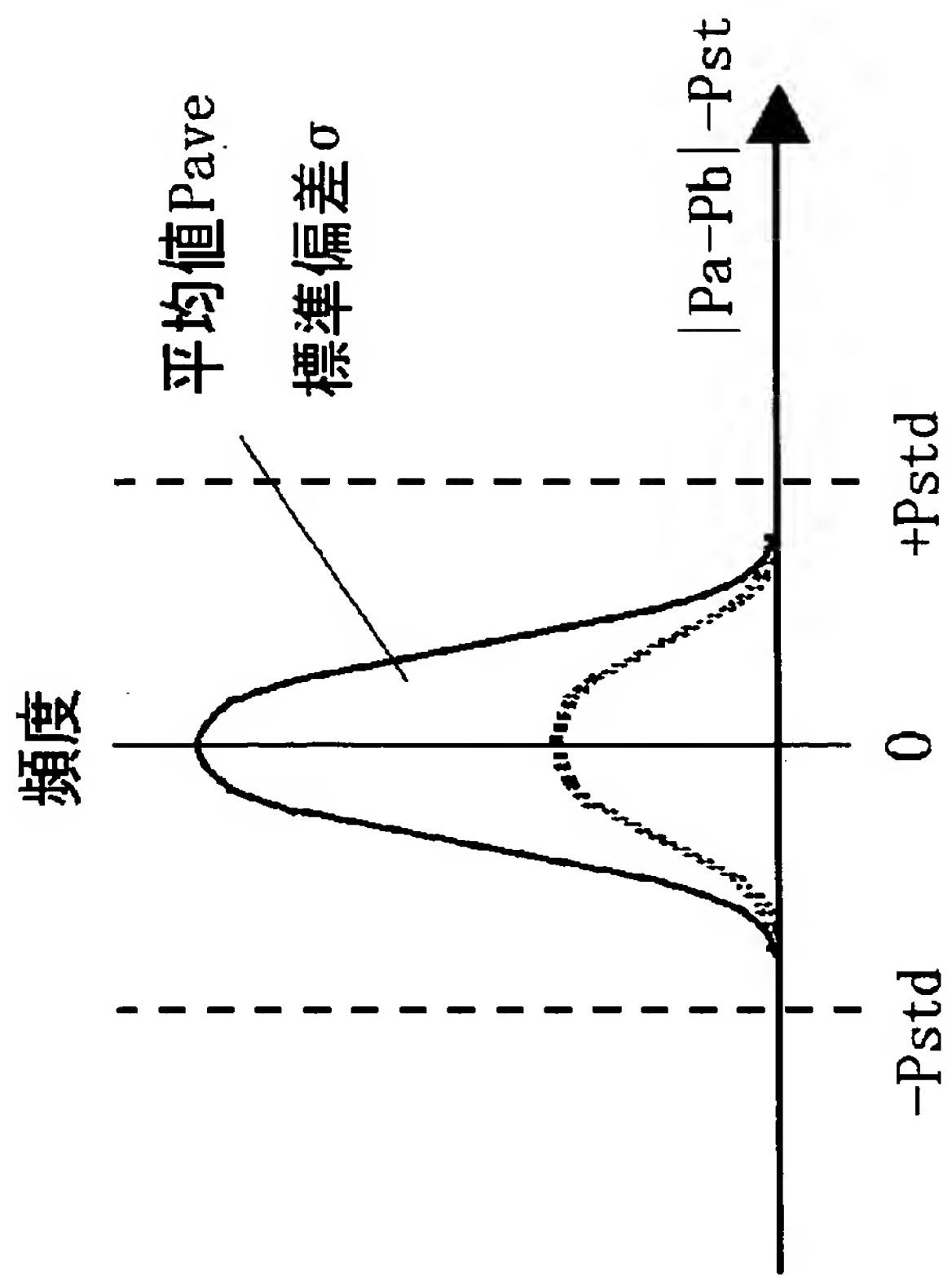


図2

[図3]

(a)  $|Pa - Pb|_{Pa=0}$  の分布の様子(b)  $|Pa - Pb| - Pst$  の分布の様子

[図4]

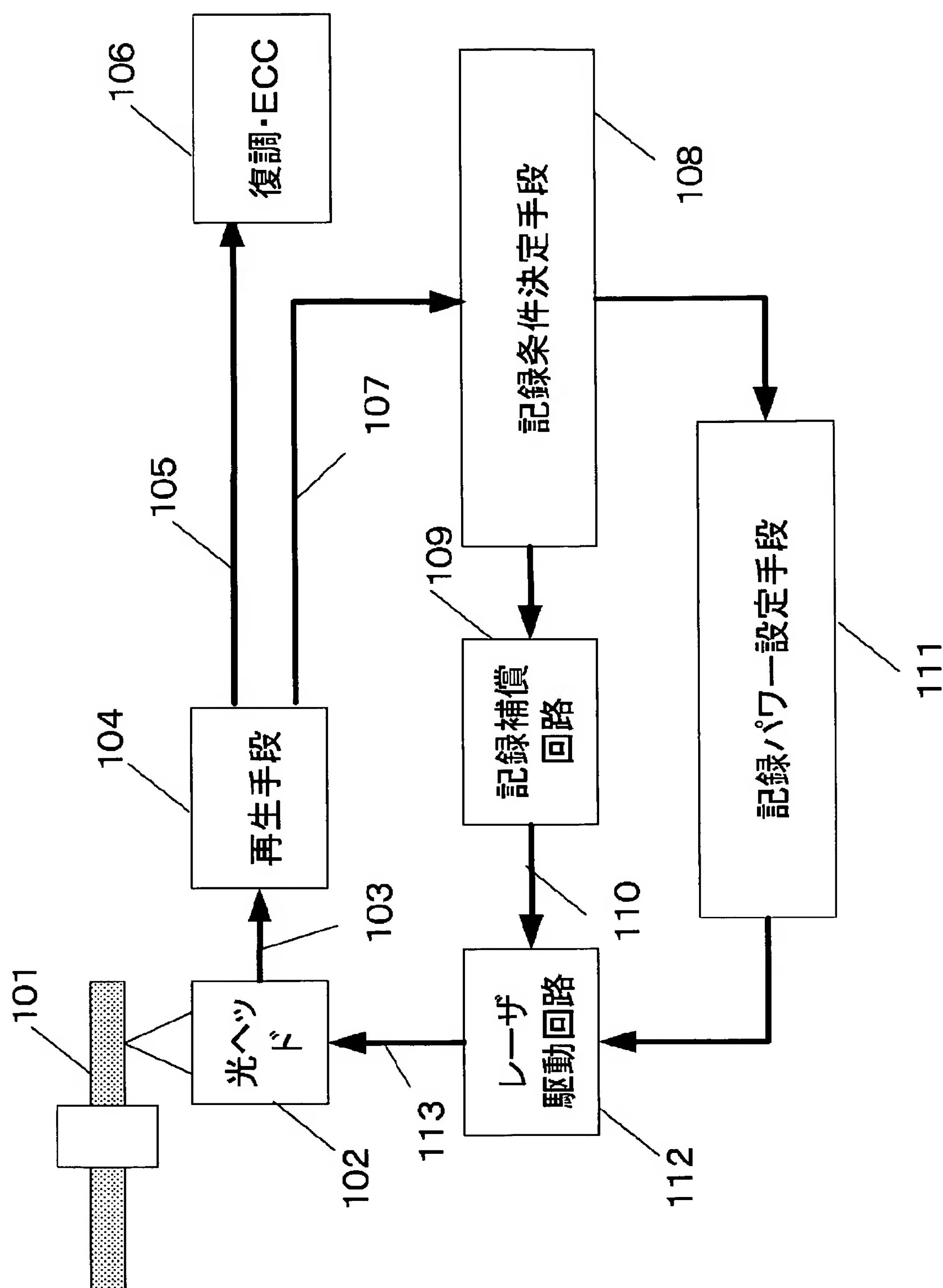
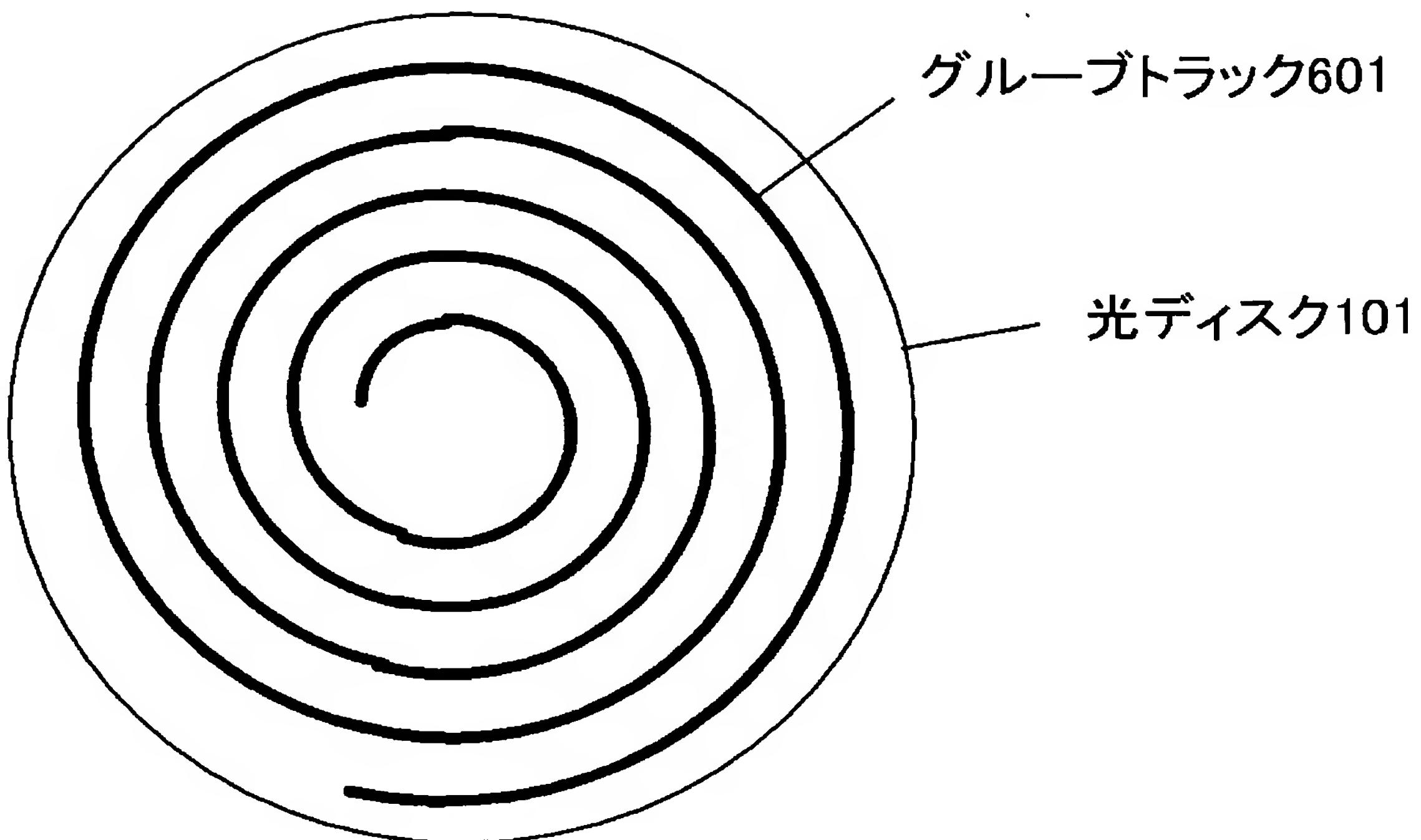


図4

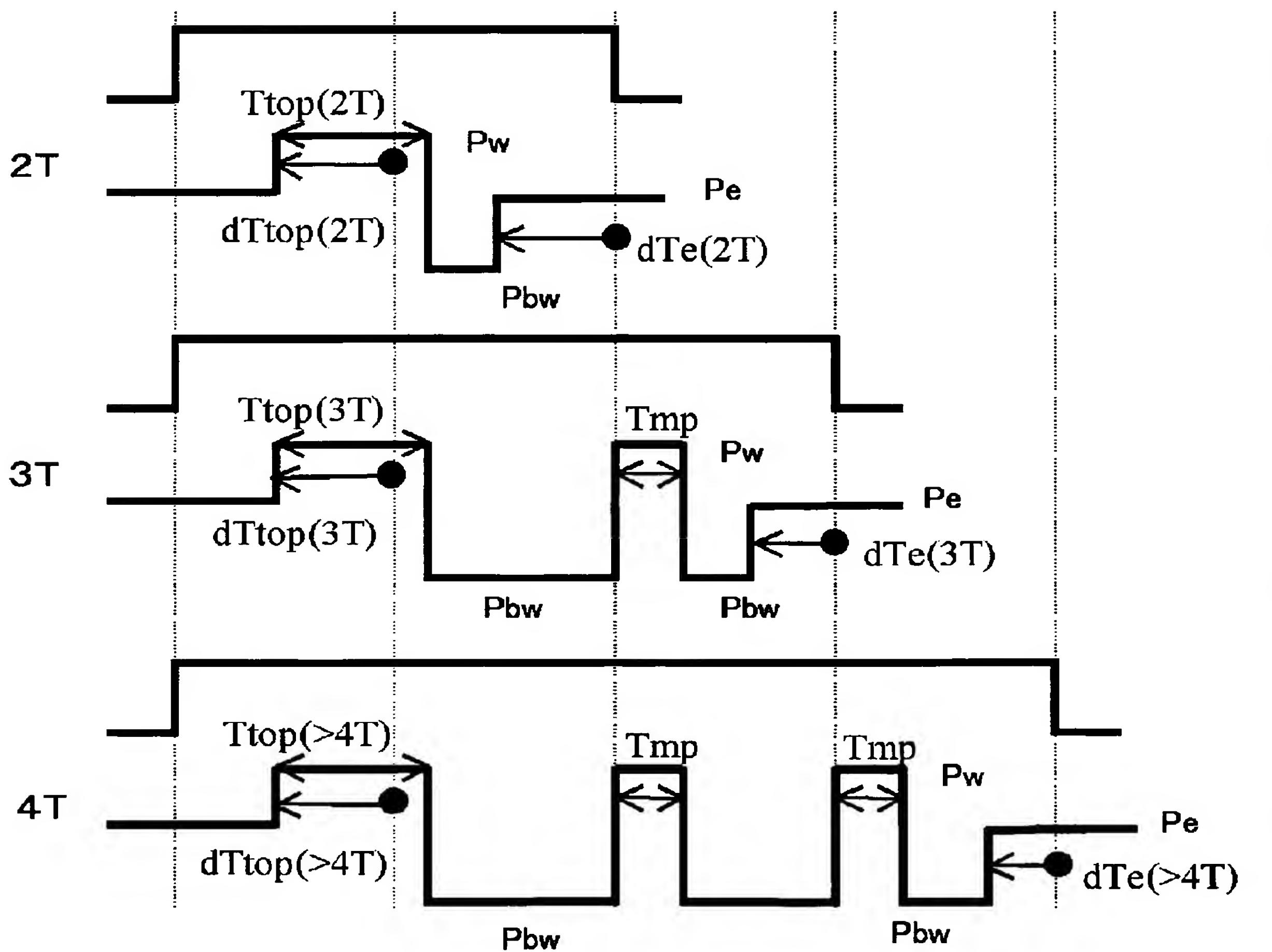
[図5]

図5



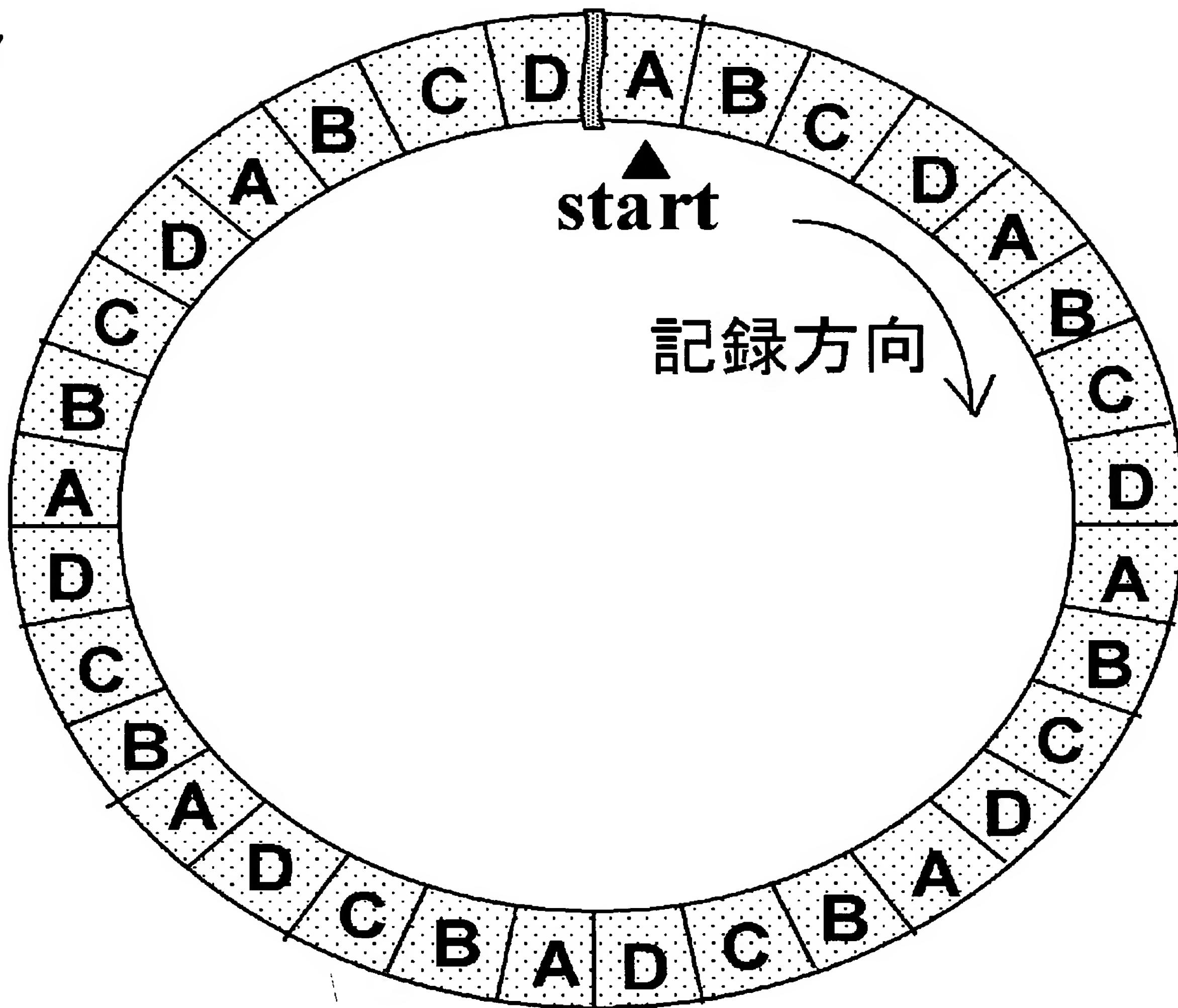
[図6]

図6



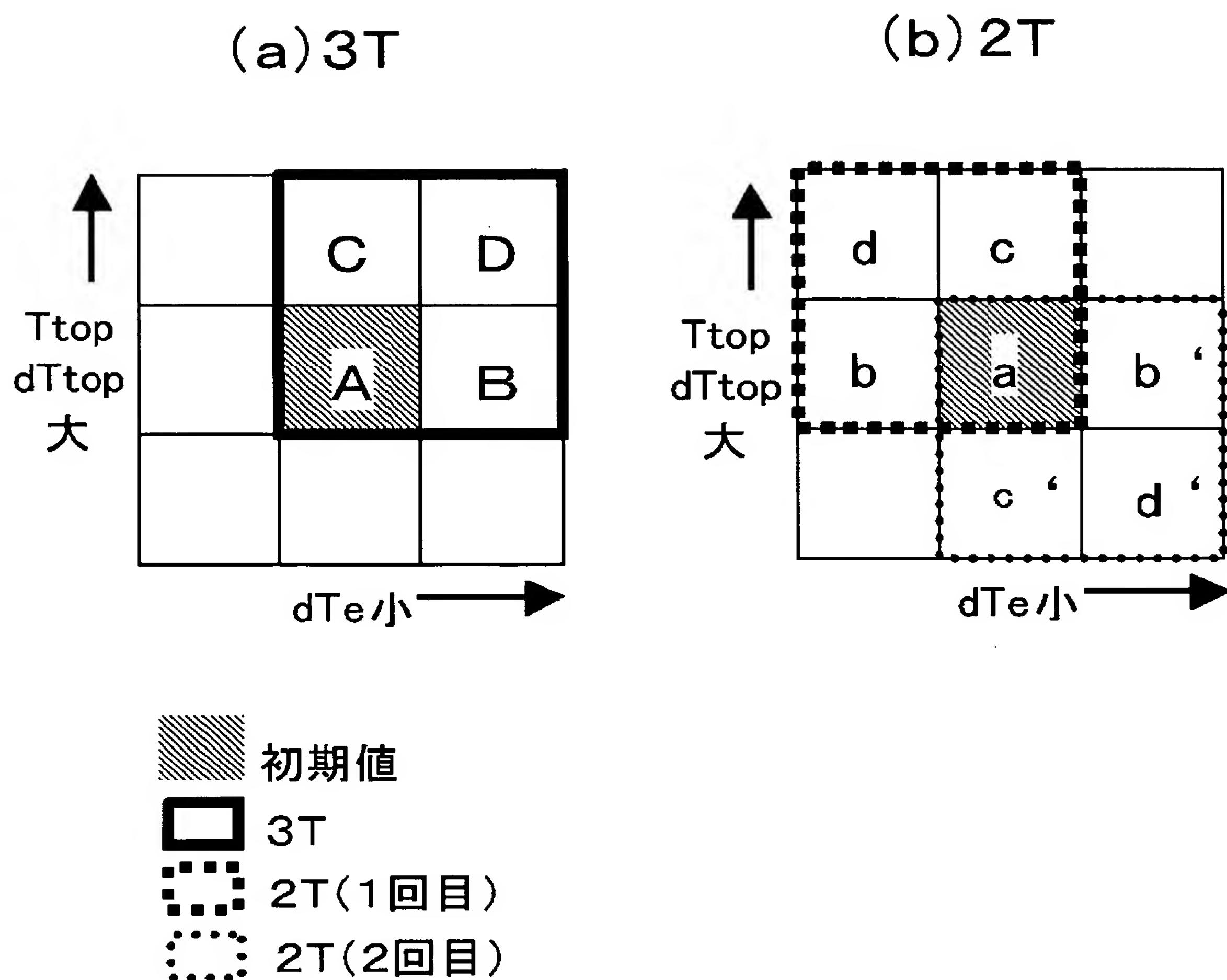
[図7]

図7



[図8]

図8



[図9]

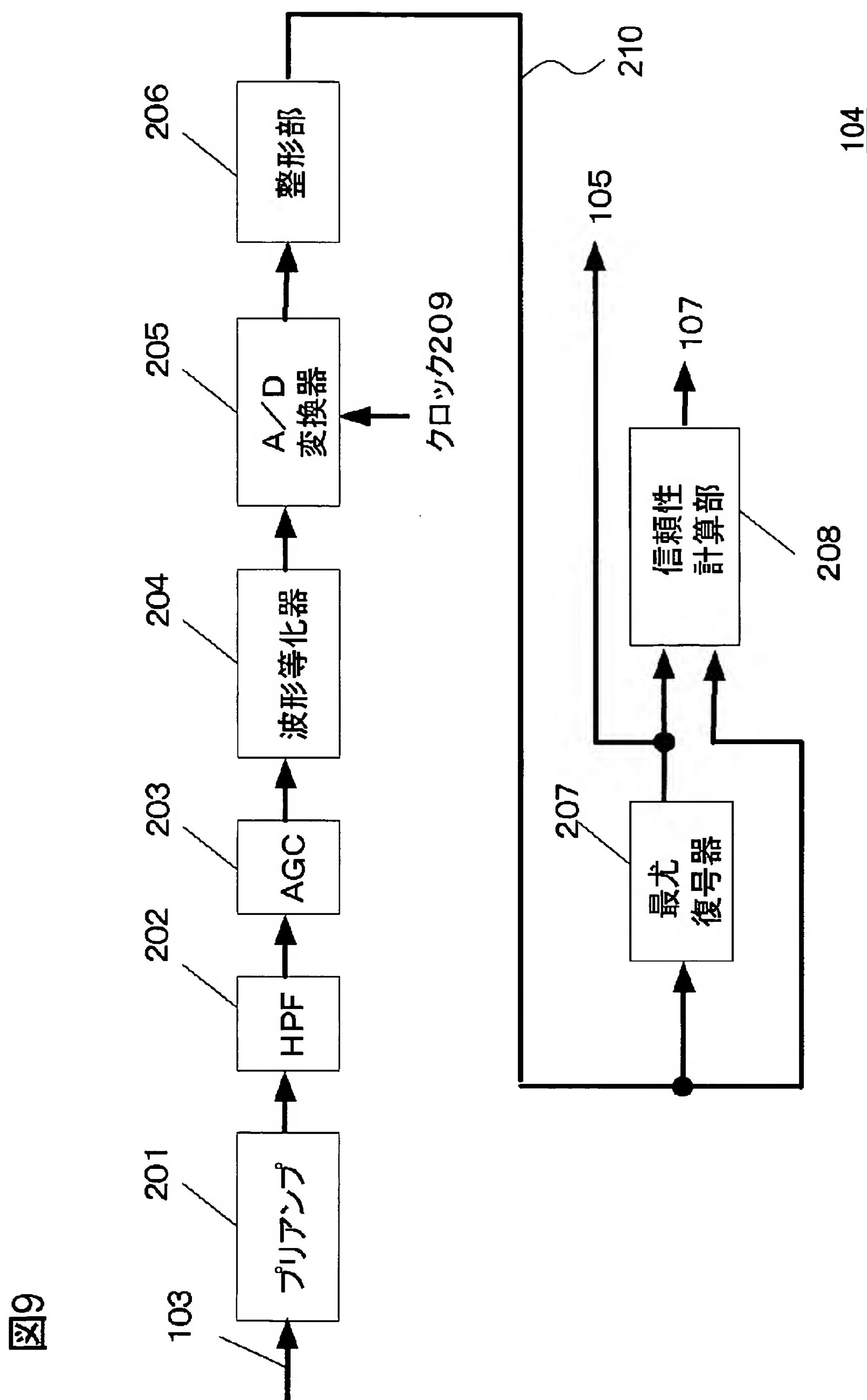
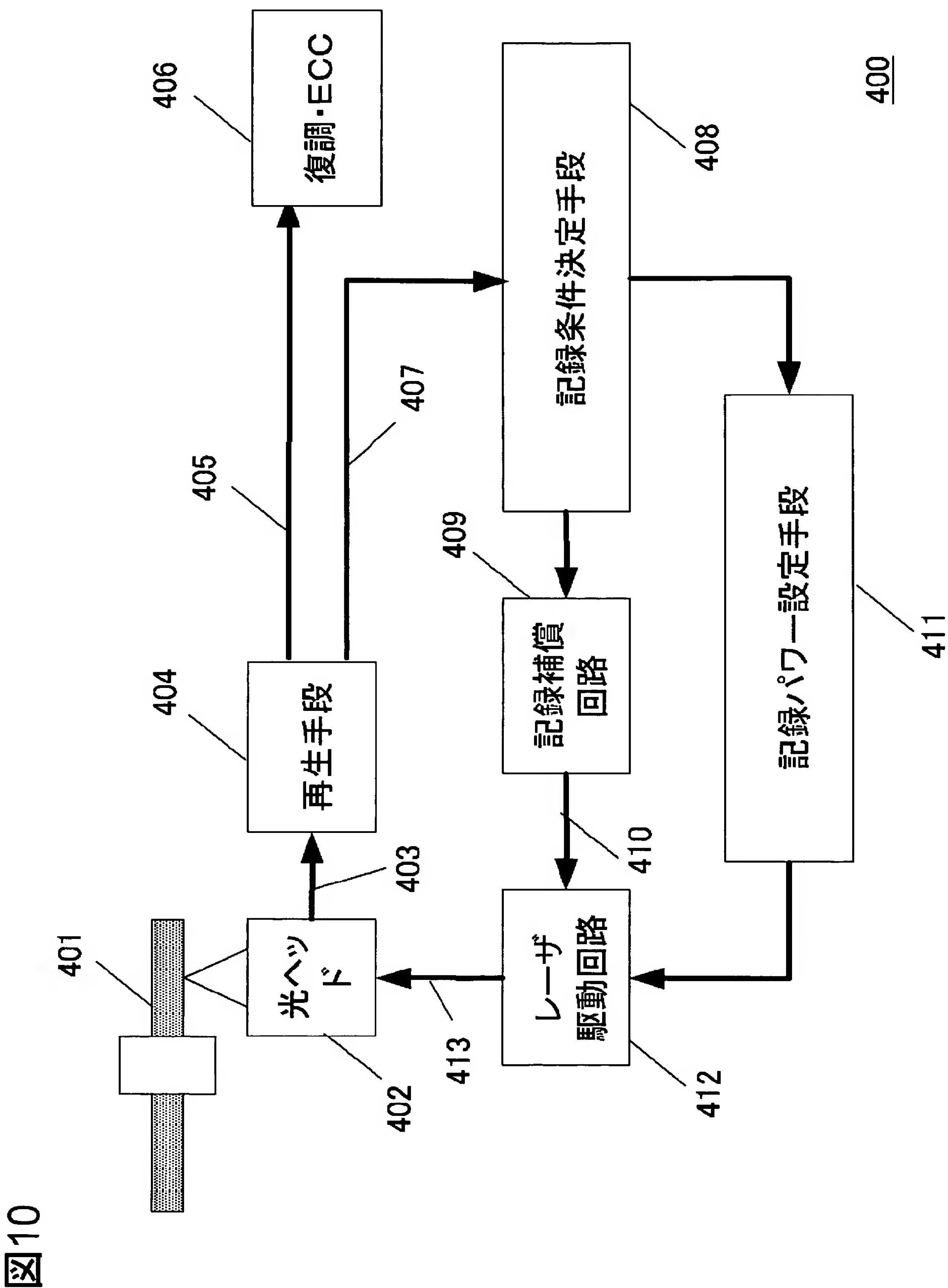


図9

[図10]



[図11]

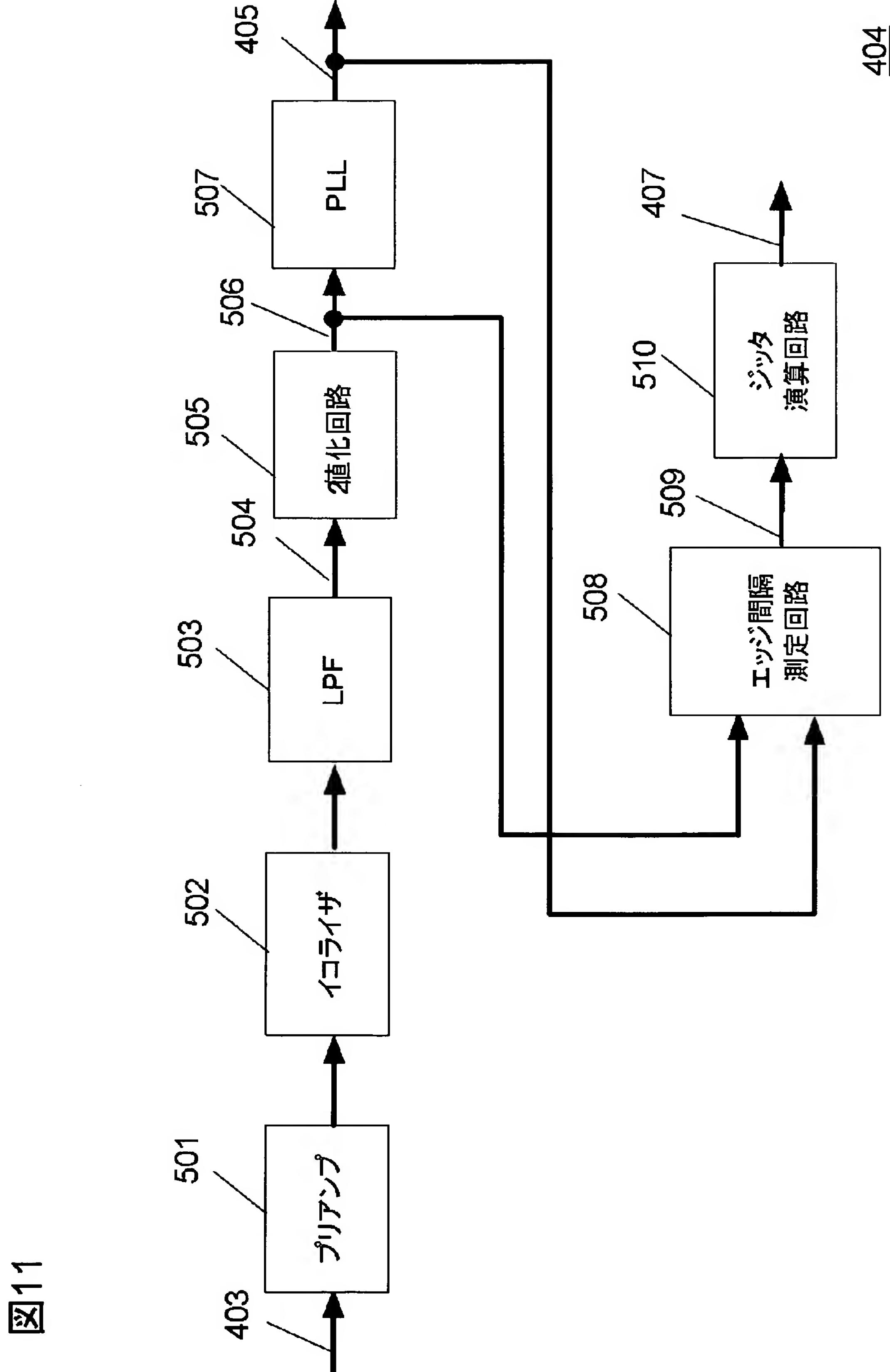
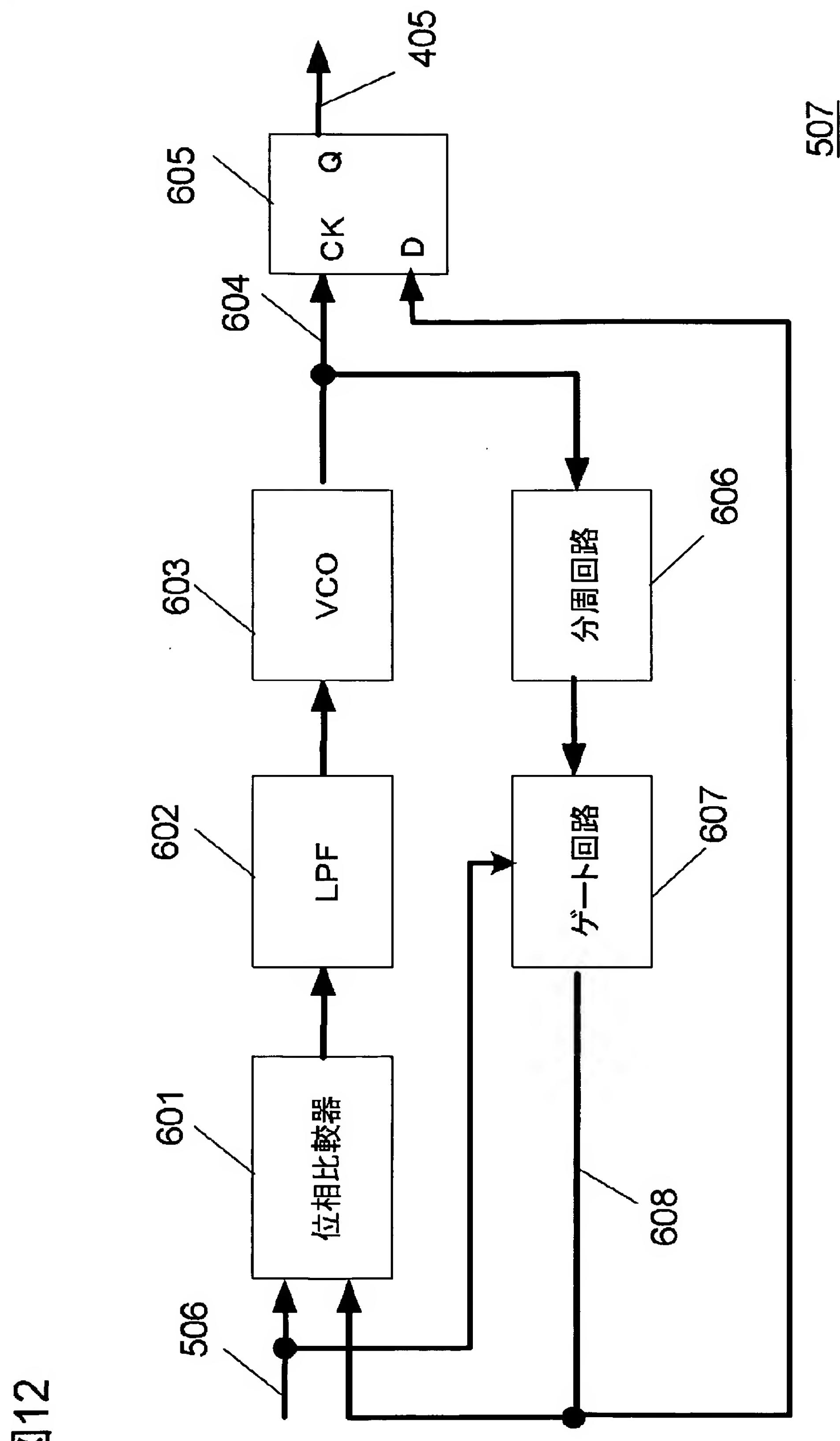


図11

[図12]



[図13]

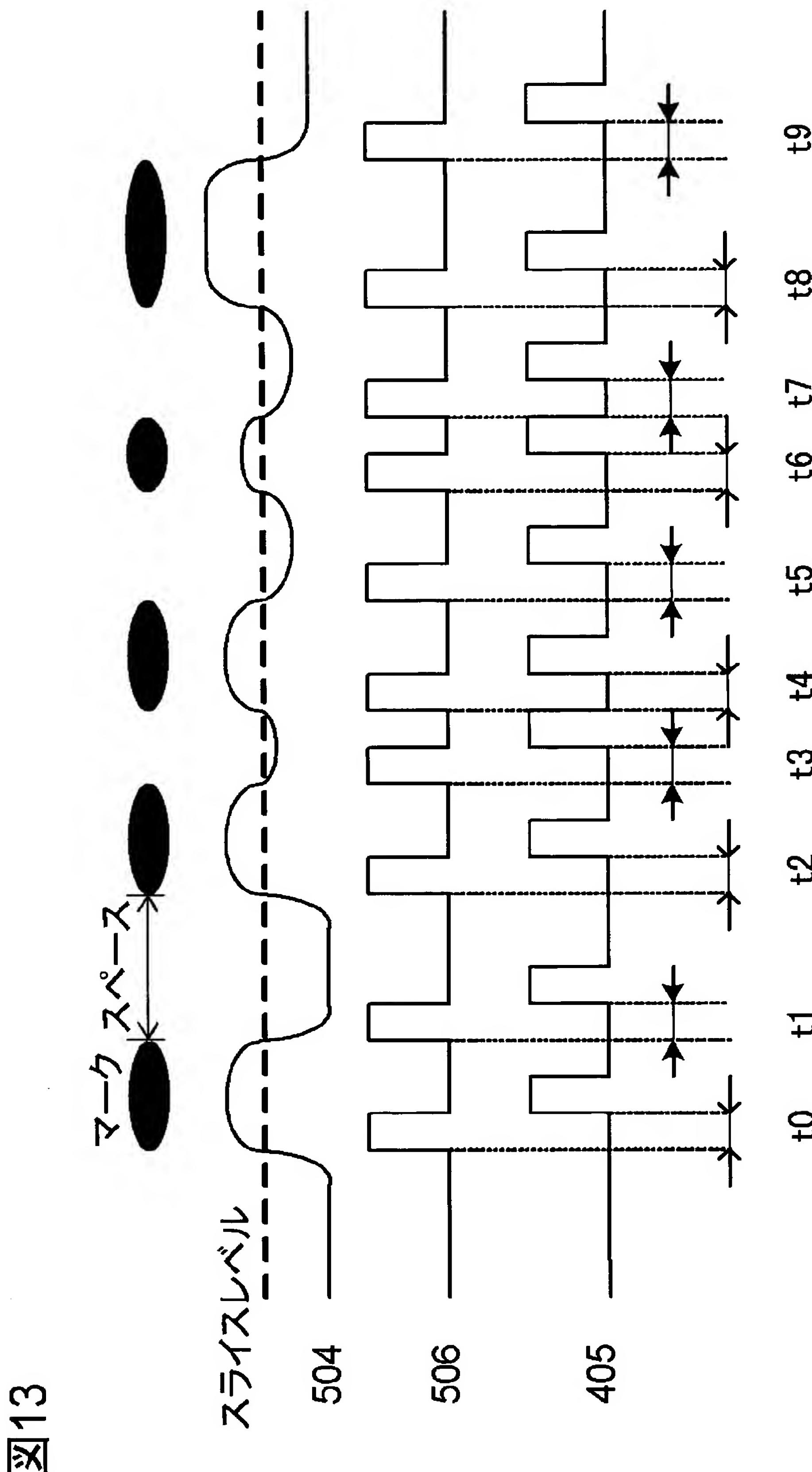
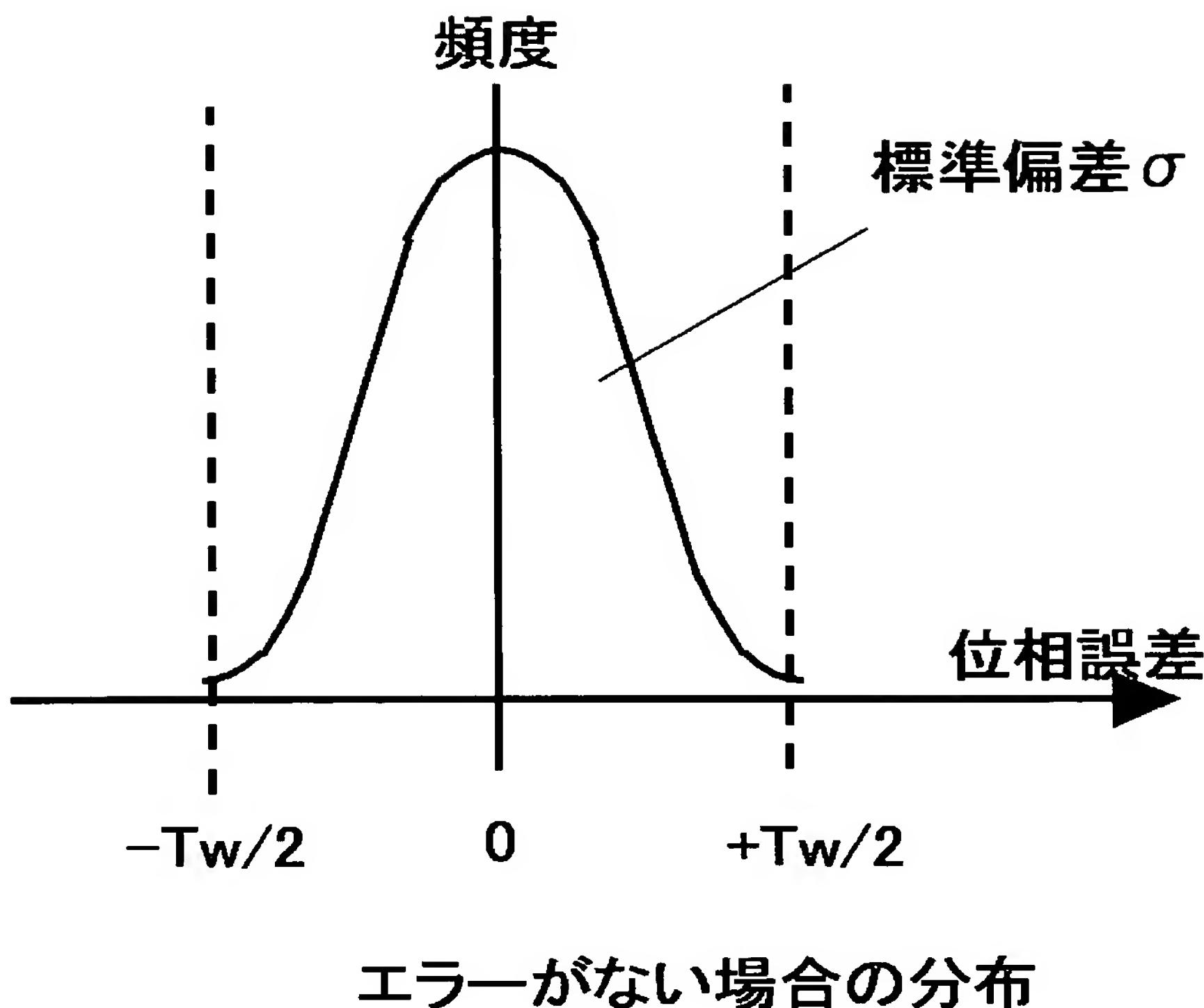


図13

[図14]

図14



[図15]

図15

